

Rec'd PCT/PTO 18 OCT 2004  
PCT/JP03/03955

107511540

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

28.03.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 4月22日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-119164

[ ST.10/C ]:

[ JP2002-119164 ]

出 願 人

Applicant(s):

本田技研工業株式会社

RECEIVED

17 APR 2003

WIPO

PCT

BEST AVAILABLE COPY

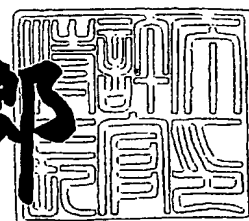
PRIORITY  
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 2月25日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3010460

【書類名】 特許願

【整理番号】 PSK58271HT

【提出日】 平成14年 4月22日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G05D 23/19  
F01N 9/00

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

【氏名】 安井 裕司

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

【氏名】 岩城 喜久

【特許出願人】

【識別番号】 000005326

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100077805

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐藤 辰彦

【選任した代理人】

【識別番号】 100077665

【弁理士】

【氏名又は名称】 千葉 剛宏

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 015174

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9711295

【プルーフの要否】 要

【書類名】明細書

【発明の名称】

排ガスセンサの温度制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、

少なくとも前記素子部と該素子部に接触する排ガスとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化を表現するようにあらかじめ定められた素子温モデルに基づいて該素子部の温度を逐次推定する温度推定手段と、該温度推定手段による素子部の温度の推定値を用いて該素子部の温度が所定の目標温度になるように前記ヒータを制御するヒータ制御手段とを備えたことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 2】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、

少なくとも前記素子部と前記ヒータとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化を表現するようにあらかじめ定められた素子温モデルに基づいて該素子部の温度を逐次推定する温度推定手段と、該温度推定手段による素子部の温度の推定値を用いて該素子部の温度が所定の目標温度になるように前記ヒータを制御するヒータ制御手段とを備えたことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 3】

前記素子温モデルは、前記素子部と該素子部に接触する排ガスとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化と、該素子部と前記ヒータとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化とを併せて表現するように定められたモデルであることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 4】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、

少なくとも前記ヒータと前記素子部との間の熱伝達に伴う該ヒータの温度変化を表現するようにあらかじめ定められたヒータ温モデルに基づいて該ヒータの温度を逐次推定する温度推定手段と、該温度推定手段によるヒータの温度の推定値を用いて該ヒータの温度が所定の目標温度になるように該ヒータを制御するヒータ制御手段とを備えたことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 5】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、

少なくとも前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給に伴う該ヒータの温度変化を表現するようにあらかじめ定められたヒータ温モデルに基づいて該ヒータの温度を逐次推定する温度推定手段と、該温度推定手段によるヒータの温度の推定値を用いて該ヒータの温度が所定の目標温度になるように該ヒータを制御するヒータ制御手段とを備えたことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 6】

前記ヒータ温モデルは、前記ヒータと前記素子部との間の熱伝達に伴う該ヒータの温度変化と、該ヒータへの発熱用エネルギーの供給に伴う該ヒータの温度変化とを併せて表現するように定められたモデルであることを特徴とする請求項 4 又は 5 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 7】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、

前記素子部と該素子部に接触する排ガスとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化と、該素子部と前記ヒータとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化とを併せて表現するようにあらかじめ定められた素子温モデルに基づいて該素子部の温度を逐次推定すると共に、前記ヒータと素子部との間の熱伝達に伴う該ヒータの温度変化と、該ヒータへの発熱用エネルギーの供給に伴う該ヒータの温度変化とを併せて表現するようにあらかじめ定められたヒータ温モデルとに基づいて該ヒータの温度を逐次推定する温度推定手段と、

該温度推定手段による素子部の温度の推定値及びヒータの温度の推定値を用い

て前記素子部の温度が所定の目標温度になるように該ヒータを制御するヒータ制御手段とを備えたことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 8】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、  
前記素子部と該素子部に接触する排ガスとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化と、該素子部と前記ヒータとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化とを併せて表現するようにあらかじめ定められた素子温モデルに基づいて該素子部の温度を逐次推定すると共に、前記ヒータと素子部との間の熱伝達に伴う該ヒータの温度変化と、該ヒータへの発熱用エネルギーの供給に伴う該ヒータの温度変化とを併せて表現するようにあらかじめ定められたヒータ温モデルとに基づいて、該ヒータの温度を逐次推定する温度推定手段と、

該温度推定手段による素子部の温度の推定値及びヒータの温度の推定値を用いて前記ヒータの温度が所定の目標温度になるように該ヒータを制御するヒータ制御手段とを備えたことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 9】

前記素子温モデルは、前記素子部の所定時間当たりの温度変化量が、少なくとも該素子部の温度と該素子部に接触する排ガスの温度との偏差に応じた温度変化成分を含むものとして表現してなるモデルであり、前記温度推定手段は、該素子温モデルに基づき前記素子部の温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した初期値に累積加算することにより該素子部の温度を推定することを特徴とする請求項 1 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 10】

前記素子温モデルは、前記素子部の所定時間当たりの温度変化量が、少なくとも該素子部の温度と前記ヒータの温度との偏差に応じた温度変化成分を含むものとして表現してなるモデルであり、前記温度推定手段は、該素子温モデルに基づき前記素子部の温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した初期値に累積加算することにより該素子部の温度を推

定することを特徴とする請求項 2 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 1】

前記素子温モデルは、前記素子部の所定時間当たりの温度変化量が、該素子部の温度と該素子部に接触する排ガスの温度との偏差に応じた温度変化成分と、該素子部の温度と前記ヒータの温度との偏差に応じた温度変化成分とを含むものとして表現してなるモデルであり、前記温度推定手段は、該素子温モデルに基づき前記素子部の温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した初期値に累積加算することにより該素子部の温度を推定することを特徴とする請求項 3 項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 2】

前記ヒータ温モデルは、前記ヒータの所定時間当たりの温度変化量が、該ヒータの温度と前記素子部の温度との偏差に応じた温度変化成分を含むものとして表現してなるモデルであり、前記温度推定手段は、該ヒータ温モデルに基づきヒータの温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した初期値に累積加算することによりヒータの温度を推定することを特徴とする請求項 4 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 3】

前記ヒータ温モデルは、前記ヒータの所定時間当たりの温度変化量が、該ヒータへの発熱用エネルギーの供給量に応じた温度変化成分を含むものとして表現してなるモデルであり、前記温度推定手段は、該ヒータ温モデルに基づきヒータの温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した初期値に累積加算することによりヒータの温度を推定することを特徴とする請求項 5 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 4】

前記ヒータ温モデルは、前記ヒータの所定時間当たりの温度変化量が、該ヒータの温度と前記素子部の温度との偏差に応じた温度変化成分と、該ヒータへの発熱用エネルギーの供給量に応じた温度変化成分とを含むものとして表現してなるモデルであり、前記温度推定手段は、該ヒータ温モデルに基づきヒータの温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定

した初期値に累積加算することによりヒータの温度を推定することを特徴とする請求項 6 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 5】

前記素子温モデルは、前記素子部の所定時間当たりの温度変化量が、該素子部の温度と該素子部に接触する排ガスの温度との偏差に応じた温度変化成分と、該素子部の温度と前記ヒータの温度との偏差に応じた温度変化成分とを含むものとして表現してなるモデルであり、

前記ヒータ温モデルは、前記ヒータの所定時間当たりの温度変化量が、該ヒータの温度と前記素子部の温度との偏差に応じた温度変化成分と、該ヒータへの発熱用エネルギーの供給量に応じた温度変化成分とを含むものとして表現してなるモデルであり、

前記温度推定手段は、前記素子温モデルに基づき素子部の温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した該素子部の温度の初期値に累積加算することにより該素子部の温度を推定すると共に、前記ヒータ温モデルに基づきヒータの温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した該ヒータの温度の初期値に累積加算することによりヒータの温度を推定することを特徴とする請求項 7 又は 8 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 6】

前記初期値は少なくとも前記内燃機関の運転開始時における大気温度及び／又は内燃機関の機関温度に応じて設定されていることを特徴とする請求項 9 ～ 1 5 のいずれか 1 項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 7】

前記ヒータ制御手段は、前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を、少なくとも前記温度推定手段による素子部の温度の推定値に応じて逐次生成し、その制御入力に応じて該ヒータを制御することを特徴とする請求項 1 ～ 3、並びに 9 ～ 1 1 のいずれか 1 項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 8】

前記ヒータ制御手段は、前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する



制御入力を、少なくとも前記温度推定手段によるヒータの温度の推定値に応じて逐次生成し、その制御入力に応じて該ヒータを制御することを特徴とする請求項 4～6、並びに、12～14のいずれか1項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項19】

前記ヒータ制御手段は、前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を、少なくとも前記温度推定手段による素子部の温度の推定値に応じた入力成分と、該温度推定手段によるヒータの温度の推定値に応じた入力成分とを加算することにより逐次生成し、その制御入力に応じて該ヒータを制御することを特徴とする請求項7、8、15のいずれか1項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、内燃機関の排気通路に備えた排ガスセンサの温度制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

内燃機関の排気通路には、内燃機関の運転制御や排ガス浄化システムの状態監視等を目的として、排ガスの成分濃度等、排ガスの成分状態に関する物理量を検出する排ガスセンサが備えられることが多々ある。該排ガスセンサは、検出しようとする排ガスの成分状態に感応する素子部が排気通路を流れる排ガスに接触するようにして該排気通路の所要の箇所に配置される。例えば排気通路に備えた排ガス浄化用の触媒の浄化性能を良好に保つように内燃機関の空燃比を制御することを目的として、 $O_2$ センサ等の空燃比センサが触媒の上流側や下流側に配置される。また、この種の排ガスセンサは、その素子部の本来の機能を発揮させるための昇温・活性化や、素子部に付着した異物の除去等を目的として該素子部を加熱するためのヒータを内蔵したものもある。例えば、前記 $O_2$ センサ等の空燃比センサには、通常、その素子部を加熱する電熱ヒータが備えられ、内燃機関の

運転開始後、該電熱ヒータにより $O_2$ センサの素子部を昇温して活性化し、その活性状態に維持することが行われている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、前記 $O_2$ センサは、後に説明する図3に示すように、その素子部が感応する排ガスの酸素濃度が表す排ガスの空燃比の極めて狭い範囲 $\Delta$ （理論空燃比近傍の範囲）においてのみ、該空燃比の変化に対して出力電圧 $V_{out}$ が大きな傾きで変化する（空燃比の変化に対する感度が高感度なものとなる）。そして、その高感度な範囲 $\Delta$ よりもリッチ側の空燃比域とリーン側の空燃比域とでは、 $O_2$ センサの出力電圧 $V_{out}$ の変化（空燃比に対する傾き）は微小なものとなる。また、 $O_2$ センサの出力特性（上記の高感度な部分の傾き等）は、素子部の温度の影響を受けて変化する。従って、このような $O_2$ センサの出力を用いて空燃比制御を行うような場合には、 $O_2$ センサの出力特性をできるだけ所要の特性に安定して維持し、ひいては空燃比制御を良好に行うために、 $O_2$ センサの素子部の温度をできるだけ安定に所望の温度に維持することが望まれる。

【0004】

また、 $O_2$ センサに限らず、多くの排ガスセンサは、その出力特性が素子部の温度の影響を受けるため、該排ガスセンサの出力を用いて内燃機関等の制御を行う場合、その制御を良好に行うために、該排ガスセンサの素子部の温度を所望の温度にできるだけ安定に維持することが好ましい。さらに、排ガスセンサの素子部のクリーニングを行うために該素子部をヒータで加熱するような場合であっても、そのクリーニングを良好に行うためには、該排ガスセンサの素子部の温度を所望の温度に維持することが好ましい。

【0005】

一方、例えば特開2000-304721号公報に本願出願人が開示したように、排ガスセンサ（同公報のものでは空燃比センサ）の素子部の温度を推定し、その推定した素子部の温度に応じてヒータ（電熱ヒータ）の通電制御を行うことで、素子部の温度が所望の温度になるようにして、該排ガスセンサの好適な出力特性が得られるようにしたものが知られている。尚、同公報のものでは、ヒータの通電電流

及び印加電圧を検出してそれらの検出値からヒータの抵抗値を把握すると共に、該ヒータの抵抗値に基づいて排ガスセンサの素子部の温度を推定するようにしている。

【0006】

しかしながら、前記公報のものでは、ヒータの抵抗値に基づいて排ガスセンサの素子部の温度を推定するものに過ぎないため、ヒータと素子部との間の熱伝達等、熱エネルギーの受給が十分に考慮されていない。このため、排ガスセンサの素子部の温度を精度よく推定することが困難である。さらに、同公報のものでは、排ガスセンサの素子部の温度の推定値から、データテーブルによりヒータへの供給電力を規定するデューティを一義的に決定するようにしている。この結果、排ガスセンサの素子部の温度を所望の温度に安定して制御することが困難である。

【0007】

本発明はかかる背景に鑑みてなされたものであり、排ガスセンサの素子部あるいはヒータの温度を精度良く推定し、その推定値を用いて排ガスセンサの素子部の温度を安定して所望の温度に制御することができる排ガスセンサの温度制御装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明の排ガスセンサの温度制御装置は、内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置である。そして、本発明の第1の態様は、前記の目的を達成するために、少なくとも前記素子部と該素子部に接触する排ガスとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化を表現するようにあらかじめ定められた素子温モデルに基づいて該素子部の温度を逐次推定する温度推定手段と、該温度推定手段による素子部の温度の推定値を用いて該素子部の温度が所定の目標温度になるように前記ヒータを制御するヒータ制御手段とを備えたことを特徴とするものである。尚、上記「熱伝達」は、直接接触による熱伝導、及び空間を介した熱伝達のいずれも含むものである。このことは、本願の他の発明においても同様で

ある。

【0009】

かかる本発明の第1の態様によれば、前記素子温モデルは、少なくとも前記素子部と該素子部に接触する排ガスとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化を表現するものである。このため、この素子温モデルに基づいて温度推定手段により素子部の温度を推定したとき、素子部と排ガスとの間の熱伝達に伴う素子部の温度変化を考慮した形態で、素子部の温度を推定できる。この結果、素子部の温度の推定値の精度を高めることができる。そして、その素子部の温度の推定値を用いて、素子部の温度が所定の目標温度（所望の温度）になるようにヒータを制御することにより、素子部の温度を該目標温度に安定して制御することが可能となる。

【0010】

また、本発明の第2の態様は、少なくとも前記素子部と前記ヒータとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化を表現するようにあらかじめ定められた素子温モデルに基づいて該素子部の温度を逐次推定する温度推定手段と、該温度推定手段による素子部の温度の推定値を用いて該素子部の温度が所定の目標温度になるように前記ヒータを制御するヒータ制御手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0011】

かかる本発明の第2の態様によれば、前記素子温モデルは、少なくとも前記素子部とヒータとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化を表現するものである。このため、この素子温モデルに基づいて温度推定手段により素子部の温度を推定したとき、素子部とヒータとの間の熱伝達に伴う素子部の温度変化を考慮した形態で、素子部の温度を推定できる。この結果、素子部の温度の推定値の精度を高めることができる。そして、その素子部の温度の推定値を用いて、素子部の温度が所定の目標温度（所望の温度）になるようにヒータを制御することにより、素子部の温度を該目標温度に安定して制御することが可能となる。

【0012】

これらの本発明の第1及び第2の態様は複合させてもよい。この場合には、本

発明の第1の態様において、前記素子温モデルを、前記素子部と該素子部に接触する排ガスとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化と、該素子部と前記ヒータとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化とを併せて表現するように定められたモデルとする。

【0013】

このように素子温モデルを定めたときには、温度推定手段により素子部の温度を推定したとき、素子部とこれに接触する排ガスとの間の熱伝達に伴う素子部の温度変化と、素子部とヒータとの間の熱伝達に伴う素子部の温度変化との両者を考慮した形態で、素子部の温度を推定できる。この結果、素子部の温度の推定値の精度をより一層高めることができる。そして、その素子部の温度の推定値を用いて、素子部の温度が所定の目標温度になるようにヒータを制御することにより、素子部の温度を該目標温度にさらに安定して制御することが可能となる。

【0014】

また、本発明の第3の態様は、少なくとも前記ヒータと前記排ガスセンサの素子部との間の熱伝達に伴う該ヒータの温度変化を表現するようにあらかじめ定められたヒータ温モデルに基づいて該ヒータの温度を逐次推定する温度推定手段と、該温度推定手段によるヒータの温度の推定値を用いて該ヒータの温度が所定の目標温度になるように該ヒータを制御するヒータ制御手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0015】

かかる本発明の第3の態様によれば、前記ヒータ温モデルは、少なくともヒータと素子部との間の熱伝達に伴うヒータの温度変化を表現するものである。このため、このヒータ温モデルに基づいて温度推定手段によりヒータの温度を推定したとき、ヒータと素子部のとの間の熱伝達に伴うヒータの温度変化を考慮した形態で、ヒータの温度を推定できる。この結果、ヒータの温度の推定値の精度を高めることができる。そして、このヒータの温度の推定値を用いてヒータの温度が所定の目標温度（所望の温度）になるようにヒータを制御することにより、ヒータの温度を該目標温度に安定して制御することが可能となる。この場合、一般に、ヒータの温度と素子部の温度とはそれらの温度がほぼ一定となる定常状態にお

いて、高い相関性を有する。このため、ヒータの温度を上記のように目標温度に安定して制御できることで、素子部の温度を、ヒータの目標温度に対応した温度に間接的に安定して制御することが可能となる。

【0016】

また、本発明の第4の態様は、少なくとも前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給に伴う該ヒータの温度変化を表現するようにあらかじめ定められたヒータ温モデルに基づいて該ヒータの温度を逐次推定する温度推定手段と、該温度推定手段によるヒータの温度の推定値を用いて該ヒータの温度が所定の目標温度になるように該ヒータを制御するヒータ制御手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0017】

かかる本発明の第4の態様によれば、前記ヒータ温モデルは、少なくともヒータへの発熱用エネルギーの供給に伴うヒータの温度変化を表現するものである。このため、このヒータ温モデルに基づいて温度推定手段によりヒータの温度を推定したとき、ヒータへの発熱用エネルギーの供給に伴うヒータの温度変化を考慮した形態で、ヒータの温度を推定できる。この結果、ヒータの温度の推定値の精度を高めることができる。そして、このヒータの温度の推定値を用いてヒータの温度が所定の目標温度（所望の温度）になるようにヒータを制御することにより、ヒータの温度を該目標温度に安定して制御することが可能となる。ひいては、前記第3の態様と同様に、素子部の温度を、ヒータの目標温度に対応した温度に間接的に安定して制御することが可能となる。

【0018】

尚、排ガスセンサのヒータは、通常、電熱ヒータであるので、前記発熱用のエネルギーは通常的には電力である。

【0019】

本発明の第3の態様と第4の態様とは複合させてもよい。この場合には、本発明の第3の態様において、前記ヒータ温モデルを、前記ヒータと前記素子部との間の熱伝達に伴う該ヒータの温度変化と、該ヒータへの発熱用エネルギーの供給に伴う該ヒータの温度変化とを併せて表現するように定められたモデルとする。

## 【0020】

このようにヒータ温モデルを定めたときには、温度推定手段によりヒータの温度を推定したとき、ヒータと素子部との間の熱伝達に伴うヒータの温度変化と、ヒータへの発熱用エネルギーの供給に伴うヒータの温度変化との両者を考慮した形態で、ヒータの温度を推定できる。この結果、ヒータの温度の推定値の精度をより一層高めることができ、ひいては、ヒータの温度を所定の目標温度にさらに安定して制御することが可能となる。そして、このようにヒータの温度をさらに安定化することができることから、素子部の温度を、ヒータの目標温度に対応した温度にさらに安定して制御することができることとなる。

## 【0021】

また、本発明の第5の態様は、前記素子部と該素子部に接触する排ガスとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化と、該素子部と前記ヒータとの間の熱伝達に伴う該素子部の温度変化とを併せて表現するようによりあらかじめ定められた素子温モデルに基づいて該素子部の温度を逐次推定すると共に、前記ヒータと素子部との間の熱伝達に伴う該ヒータの温度変化と、該ヒータへの発熱用エネルギーの供給に伴う該ヒータの温度変化とを併せて表現するようによりあらかじめ定められたヒータ温モデルとに基づいて該ヒータの温度を逐次推定する温度推定手段と、該温度推定手段による素子部の温度の推定値及びヒータの温度の推定値を用いて前記素子部の温度が所定の目標温度になるように該ヒータを制御するヒータ制御手段とを備えたことを特徴とするものである。

## 【0022】

さらに、本発明の第6の態様は、上記第5の態様と同一の温度推定手段と、該温度推定手段による素子部の温度の推定値及びヒータの温度の推定値を用いて前記素子部の温度が所定の目標温度になるように該ヒータを制御するヒータ制御手段とを備えたことを特徴とするものである。

## 【0023】

これらの第5及び第6の態様では、前記第1及び第2の態様を複合させた素子温モデルに基づいて素子部の温度を推定すると共に、前記第3及び第4の態様を複合させたヒータ温モデルに基づいてヒータの温度を推定するので、それらの両

者の温度の推定値が温度推定手段により精度よく求められる。そして、これらの素子部の温度の推定値とヒータの温度の推定値との両者を用いて、素子部あるいはヒータの温度が所定の目標温度（所望の温度）になるようにヒータを制御することにより、素子部の温度あるいはヒータの温度を目標温度に効果的に安定して制御することができる。

#### 【0024】

すなわち、素子部の温度が所定の目標温度になるようにヒータを制御するときには（第5の態様）、制御量としての素子部の温度の推定値だけでなく、この素子部の温度に影響を及ぼすヒータの温度の推定値も考慮した形態でヒータを制御できるため、素子部の温度の目標温度への制御の安定性を高めることができる。また、ヒータの温度が所定の目標温度になるようにヒータを制御するときには（第6の態様）、制御量としてのヒータの温度の推定値だけでなく、このヒータの温度に影響を及ぼす素子部の温度の推定値も考慮した形態でヒータを制御できるため、ヒータの温度の目標温度への制御の安定性を高めることができる。ひいては、素子部の温度のヒータの目標温度に対応した温度に高い安定性で制御できる。

#### 【0025】

前記第1の態様の発明では、前記素子温モデルは、前記素子部の所定時間当たりの温度変化量が、少なくとも該素子部の温度と該素子部に接触する排ガスの温度との偏差に応じた温度変化成分を含むものとして表現してなるモデルであり、前記温度推定手段は、該素子温モデルに基づき前記素子部の温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した初期値に累積加算することにより該素子部の温度を推定することが好ましい。

#### 【0026】

また、前記第2の態様の発明では、前記素子温モデルは、前記素子部の所定時間当たりの温度変化量が、少なくとも該素子部の温度と前記ヒータの温度との偏差に応じた温度変化成分を含むものとして表現してなるモデルであり、前記温度推定手段は、該素子温モデルに基づき前記素子部の温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した初期値に累積加算



することにより該素子部の温度を推定することが好ましい。

【0027】

さらに、第1の態様と第2の態様とを複合させた場合には、前記素子温モデルは、前記素子部の所定時間当たりの温度変化量が、該素子部の温度と該素子部に接触する排ガスの温度との偏差に応じた温度変化成分と、該素子部の温度と前記ヒータの温度との偏差に応じた温度変化成分とを含むものとして表現してなるモデルであり、前記温度推定手段は、該素子温モデルに基づき前記素子部の温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した初期値に累積加算することにより該素子部の温度を推定することが好ましい。

【0028】

ここで、上記の素子温モデルにおいて、素子部の温度と該素子部に接触する排ガスの温度との偏差に応じた温度変化成分（所定時間当たりの温度変化成分）は、該素子部と排ガスとの間の熱伝達に応じた素子部の温度変化成分を意味するものである。また、素子部の温度とヒータの温度との偏差に応じた温度変化成分は、該素子部とヒータとの間の熱伝達に応じた素子部の温度変化成分（所定時間当たりの温度変化成分）を意味するものである。

【0029】

従って、前記第1の態様では、前記素子温モデルに基づいて、素子部と排ガスとの間の熱伝達を適正に考慮した形態で該素子部の所定時間毎の温度変化量の推定値を求めることができる。同様に前記第2の態様では、素子部とヒータとの間の熱伝達を適正に考慮した形態で該素子部の所定時間毎の温度変化量の推定値を求めることができる。特に、第1の態様と第2の態様とを複合させた場合には、上記の2種類の熱伝達を適正に考慮した形態で該素子部の所定時間毎の温度変化量の推定値を精度よく求めることができる。そして、この温度変化量の推定値を、内燃機関の運転開始時に設定した初期値（内燃機関の運転開始時における素子部の温度の予測値）に累積加算することにより、素子部の温度の推定値を精度よく求めることが可能となる。ひいては、該素子部の温度を所定の目標温度にするためのヒータの制御を良好に行い、該素子部の温度の安定性を高めることができ

る。

【0030】

尚、前記素子温モデルに基づいて所定時間毎の素子部の温度変化量を求めるために必要な排ガスの温度や、ヒータの温度は、温度センサを用いて直接的に検出したもの（最新の検出値）を用いるようにしてもよいが、適宜のパラメータから推定した値（最新の推定値）を用いるようにしてもよい。

【0031】

上述したような素子温モデルに基づく素子部の温度の推定処理は、ヒータの温度を推定する本発明の第3及び第4の態様でも同様に行うことができる。すなわち、前記第3の態様では、前記ヒータ温モデルは、前記ヒータの所定時間当たりの温度変化量が、該ヒータの温度と前記素子部の温度との偏差に応じた温度変化成分を含むものとして表現してなるモデルであり、前記温度推定手段は、該ヒータ温モデルに基づきヒータの温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した初期値に累積加算することによりヒータの温度を推定することが好ましい。

【0032】

また、前記第4の態様では、前記ヒータ温モデルは、前記ヒータの所定時間当たりの温度変化量が、該ヒータへの発熱用エネルギーの供給量に応じた温度変化成分を含むものとして表現してなるモデルであり、前記温度推定手段は、該ヒータ温モデルに基づきヒータの温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した初期値に累積加算することによりヒータの温度を推定することが好ましい。

【0033】

さらに、第3の態様と第4の態様とを複合させた場合には、前記ヒータ温モデルは、前記ヒータの所定時間当たりの温度変化量が、該ヒータの温度と前記素子部の温度との偏差に応じた温度変化成分と、該ヒータへの発熱用エネルギーの供給量に応じた温度変化成分とを含むものとして表現してなるモデルであり、前記温度推定手段は、該ヒータ温モデルに基づきヒータの温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した初期値に累積加

算することによりヒータの温度を推定することが好ましい。

【0034】

この場合、上記のヒータ温モデルにおいて、ヒータの温度と素子部の温度との偏差に応じた温度変化成分（所定時間当たりの温度変化成分）は、該ヒータと素子部との間の熱伝達に応じたヒータの温度変化成分を意味するものである。また、ヒータへの発熱用エネルギーの供給量に応じた温度変化成分は、該ヒータへの発熱用エネルギーの供給に応じたヒータの温度変化成分（所定時間当たりの温度変化成分）を意味するものである。

【0035】

従って、前記第3の態様では、前記ヒータ温モデルに基づいて、ヒータと素子部との間の熱伝達を適正に考慮した形態で該ヒータの所定時間毎の温度変化量の推定値を求めることができる。同様に前記第4の態様では、ヒータへの発熱用エネルギーの供給を適正に考慮した形態で該ヒータの所定時間毎の温度変化量の推定値を求めることができる。特に、第3の態様と第4の態様とを複合させた場合には、上記の熱伝達と発熱用エネルギーの供給との両者を適正に考慮した形態で該ヒータの所定時間毎の温度変化量の推定値を精度よく求めることができる。そして、この温度変化量の推定値を、内燃機関の運転開始時に設定した初期値（内燃機関の運転開始時におけるヒータの温度の予測値）に累積加算することにより、ヒータの温度の推定値を精度よく求めることが可能となる。ひいては、該ヒータの温度を所定の目標温度にするためのヒータの制御を良好に行い、結果的に、素子部の温度の安定性を高めることができる。

【0036】

尚、前記ヒータ温モデルに基づいて所定時間毎のヒータの温度変化量を求めるために必要な素子部の温度は、温度センサを用いて直接的に検出したもの（最新の検出値）を用いるようにしてもよいが、適宜のパラメータから推定した値（最新の推定値）を用いるようにしてもよい。また、ヒータの温度変化量を求めるために必要なヒータへの発熱用エネルギーの供給量は、例えばその供給量を規定するものとしてヒータ制御手段が生成する制御入力（操作量）の値（最新値）を用いるようにすればよい。あるいは、ヒータが電熱ヒータである場合には、例えば

該ヒータへの通電電流及び通電電圧を検出し、それらの検出値（最新の検出値）から把握されるヒータへの供給電力を用いるようにしてもよい。

【0037】

また、素子部の温度とヒータ温度との両者を推定する本発明の第5及び第6の態様においても、上記と同様に素子温モデル及びヒータ温モデルを設定して、素子部の温度及びヒータの温度を推定することが好ましい。すなわち、前記素子温モデルは、前記素子部の所定時間当たりの温度変化量が、該素子部の温度と該素子部に接触する排ガスの温度との偏差に応じた温度変化成分と、該素子部の温度と前記ヒータの温度との偏差に応じた温度変化成分とを含むものとして表現してなるモデルであり、前記ヒータ温モデルは、前記ヒータの所定時間当たりの温度変化量が、該ヒータの温度と前記素子部の温度との偏差に応じた温度変化成分と、該ヒータへの発熱用エネルギーの供給量に応じた温度変化成分とを含むものとして表現してなるモデルであり、前記温度推定手段は、前記素子温モデルに基づき素子部の温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した該素子部の温度の初期値に累積加算することにより該素子部の温度を推定すると共に、前記ヒータ温モデルに基づきヒータの温度変化量を逐次推定し、その温度変化量の推定値を前記内燃機関の運転開始時に設定した該ヒータの温度の初期値に累積加算することによりヒータの温度を推定することが好ましい。

【0038】

これによれば、素子部及びヒータに対する熱の授受を適正に考慮した形態で、素子部及びヒータの所定時間毎の温度変化量をそれぞれ精度よく求めることができる。そして、素子部の所定時間毎の温度変化量の推定値を、内燃機関の運転開始時に設定した素子部の温度の初期値（内燃機関の運転開始時における素子部の温度の予測値）に累積加算することにより、素子部の温度の推定値を精度よく求めることが可能となる。同様に、ヒータの所定時間毎の温度変化量の推定値を、内燃機関の運転開始時に設定したヒータの温度の初期値（内燃機関の運転開始時におけるヒータの温度の予測値）に累積加算することにより、ヒータの温度の推定値を精度よく求めることが可能となる。この結果、これらの素子部及びヒータ

の温度の推定値を用いて、素子部あるいはヒータの温度を目標温度にするためのヒータの制御を良好に行うことができ、ひいては、素子部の温度の安定性を効果的に高めることができる。

【0039】

尚、この場合において、前記素子温モデルにより素子部の温度変化量を求めるために必要なヒータの温度は、前記ヒータ素子温モデルに基づく推定値（最新値）を用いればよい。同様に、ヒータ素子温モデルによりヒータの温度変化量を求めるために必要な素子部の温度は、素子温モデルに基づく推定値（最新値）を用いればよい。また、素子温モデルにより素子部の温度変化量を求めるために必要な排ガスの温度は、前記第1の態様の場合と同様、検出値及び推定値のいずれを用いてもよい。さらに、ヒータ温モデルによりヒータの温度変化量を求めるために必要なヒータへの発熱用エネルギーの供給量は、前記第4の態様の場合と同様に、その供給量を規定するヒータ制御手段の制御入力や、該ヒータへの通電電流及び通電電圧の検出値から把握されるヒータへの供給電力を用いるようにすればよい。

【0040】

上述のように所定時間毎の温度変化量の推定値を初期値に累積加算することで、素子部の温度やヒータの温度を推定する本発明では、前記初期値は少なくとも前記内燃機関の運転開始時における大気温度及び／又は内燃機関の機関温度に応じて設定されていることが好ましい。これによれば、内燃機関の運転開始時における素子部の温度やヒータの温度の初期値を適正に設定することができる。尚、内燃機関の運転開始前の停止期間が長い場合には、前記初期値として大気温度を用いることが好ましく、停止期間が短い場合には前記初期値として機関温度を用いることが好ましい。

【0041】

前述した本発明の第1の態様、あるいは第2の態様、あるいはこれらを複合させたものでは、前記ヒータ制御手段は、前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を、少なくとも前記温度推定手段による素子部の温度の推定値に応じて逐次生成し、その制御入力に応じて該ヒータを制御することが好ま

しい。このように制御入力を生成することにより、該制御入力、制御量である素子部の温度の推定値に応じたフィードバック成分を含むものとなる。従って、フィードバック制御によりヒータを制御することとなり、素子部の温度を所定の目標温度に制御するためのヒータの制御を良好に行い、素子部の温度の安定性を適正に確保することができる。

#### 【0042】

同様に、本発明の第3の態様、あるいは第4の態様、あるいはこれらを複合させたものでは、前記ヒータ制御手段は、前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を、少なくとも前記温度推定手段によるヒータの温度の推定値に応じて逐次生成し、その制御入力に応じて該ヒータを制御することが好ましい。このように制御入力を生成することにより、該制御入力、制御量であるヒータの温度の推定値に応じたフィードバック成分を含むものとなる。従って、フィードバック制御によりヒータを制御することとなり、ヒータの温度を所定の目標温度に制御するためのヒータの制御を良好に行い、素子部の温度の安定性を適正に確保することができる。

#### 【0043】

さらに、本発明の第5の態様あるいは第6の態様では、前記ヒータ制御手段は、前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を、少なくとも前記温度推定手段による素子部の温度の推定値に応じた入力成分と、該温度推定手段によるヒータの温度の推定値に応じた入力成分とを加算することにより逐次生成し、その制御入力に応じて該ヒータを制御することが好ましい。このように制御入力を生成することにより、該制御入力は、前記第5の態様では、制御量である素子部の温度の推定値に応じたフィードバック成分に加えて、ヒータの温度の推定値に応じた制御入力成分を含むものとなる。また、第6の態様では、制御量であるヒータの温度の推定値に応じたフィードバック成分に加えて、素子部の温度の推定値に応じた制御入力成分を含むものとなる。この結果、素子部の温度あるいはヒータの温度を所定の目標温度にするためのヒータの制御の安定性をより高めることができ、ひいては、素子部の温度の安定性をより効果的に確保することができる。

## 【 0 0 4 4 】

尚、本発明では、排ガスセンサとしては、例えば排ガス浄化用の触媒装置の下流側に配置した $O_2$ センサが挙げられる。この場合、触媒装置による所要の浄化性能を確保するために、 $O_2$ センサの出力電圧を所定値に維持するように排ガスの空燃比を制御するような場合には、その空燃比制御を良好に行う上で、該 $O_2$ センサの素子部の温度を $750^{\circ}C$ 以上の温度（例えば $800^{\circ}C$ ）に制御することが好適である。この場合、素子部の目標温度を決めてヒータを制御するときには、その目標温度を $750^{\circ}C$ 以上の温度（例えば $800^{\circ}C$ ）に設定すればよく、ヒータの目標温度を決めてヒータを制御するときには、その目標温度を $850^{\circ}C$ 以上の温度（例えば $900^{\circ}C$ ）に設定すればよい。

## 【 0 0 4 5 】

## 【発明の実施の形態】

本発明の第1実施形態を図1～図11を参照して説明する。図1は、本実施形態の装置の全体構成を模式的に示すブロック図である。同図中、1は例えば自動車やハイブリッド車に搭載されるエンジン（内燃機関）であり、このエンジン1が燃料及び空気の混合気を燃焼させて生成する排ガスは、該エンジン1の排気ポート2に連通する排気通路3を介して大気側に排出される。排気通路3には、排ガスを浄化するための触媒装置4、5が上流側から順次介装されている。排気通路3のうち、触媒装置4の上流側の部分（排気ポート2と触媒装置4の間の部分）と、両触媒装置4、5の間の部分と、触媒装置5の下流側の部分とはそれぞれ管状の通路形成物である排気管6a、6b、6cにより構成されている。

## 【 0 0 4 6 】

各触媒装置4、5はそれぞれ触媒7（本実施形態では三元触媒）を内蔵するものである。この触媒7は、ハニカム構造の通路形成物であり、その内部を排ガスが流れるようになっている。尚、触媒装置4、5は一体構造のもの（例えば同一のケース内に三元触媒からなる二つの触媒床を上流部と下流部とに内蔵したもの）であってもよい。

## 【 0 0 4 7 】

本実施形態の装置では、特に触媒装置4の良好な浄化性能（触媒装置4による

CO、HC、NO<sub>x</sub>の浄化性能)を確保するようにエンジン1の排ガスの空燃比を制御する。そして、この空燃比制御を行うために、触媒装置4、5の間の排気通路3(排気管6bにより形成される排気通路)にO<sub>2</sub>センサ8が配置され、触媒装置4の上流側の排気通路3(排気管6aにより形成される排気通路)に広域空燃比センサ9が配置されている。

## 【0048】

ここで、O<sub>2</sub>センサ8は、本発明における排ガスセンサに相当するものであり、その基本構造や特性等をさらに説明する。このO<sub>2</sub>センサ8は、図2に模式的に示すように、酸素イオンを通しやすい固体電解質、例えば安定ジルコニア(ZrO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)を主材質とする有底筒形状の素子部10(感応部)を備え、この素子部10の外表面及び内表面には、それぞれ、多孔質の白金電極11、12がコーティングされている。また、この素子部10の内部には、該素子部10の昇温・活性化や温度制御等を行うために電熱ヒータとしての棒状のセラミックヒータ13が挿入されると共に、セラミックヒータ13の周囲の空間には一定酸素濃度(一定の酸素分圧)の空気が充填されている。そして、このO<sub>2</sub>センサ8は、その素子部10の先端部の外表面が排気管6b内の排ガスに接触するようにセンサ筐体14を介して排気管6bに装着されている。

## 【0049】

尚、図2中、15は、排気管6b内の素子部10に異物等が当たらないようにするための筒状のプロテクタであり、排気管6b内の素子部10は、プロテクタ15に穿設されている複数の孔(図示省略)を介して排ガスに接触するようになっている。

## 【0050】

かかる構造のO<sub>2</sub>センサ8では、素子部10の先端部外表面に接触する排ガスの酸素濃度と素子部10の内部の空気の酸素濃度との差によって、前記白金電極11、12間に排ガスの酸素濃度に応じた起電力が生じる。そして、該O<sub>2</sub>センサ8は、その起電力を図示しない増幅器で増幅してなる出力電圧V<sub>out</sub>を外部に出力する。

## 【0051】



この場合、排ガスの酸素濃度、あるいは該酸素濃度から把握される排ガスの空燃比に対する $O_2$ センサ 8 の出力電圧  $V_{out}$  の特性（出力特性）は、基本的には図 3 に実線のグラフ a で示すような特性（所謂 Z カーブ特性）となる。尚、図 3 の実線のグラフ a は、より詳しくは、素子部 10 の温度が  $800^{\circ}C$  であるときの  $O_2$  センサ 8 の出力特性を示すグラフである。素子部 10 の温度と  $O_2$  センサ 8 の出力特性との関係については後述する。

## 【 0 0 5 2 】

図 3 のグラフ a に見られるように、 $O_2$  センサ 8 の出力特性は、一般的に、排ガスの酸素濃度により表わされる空燃比が理論空燃比近傍の狭い空燃比域  $\Delta$  に存する状態でのみ、出力電圧  $V_{out}$  が排ガスの空燃比に対してほぼリニアに高感度な変化を示す。つまり、その空燃比域  $\Delta$ （以下、高感度空燃比域  $\Delta$  という）において、空燃比の変化に対する出力電圧  $V_{out}$  の変化の傾き（出力特性のグラフの傾き）が大きなものとなる。そして、その高感度空燃比域  $\Delta$  よりもリッチ側の空燃比域とリーン側の空燃比域とでは、排ガスの空燃比の変化に対する出力電圧  $V_{out}$  の変化の傾き（出力特性のグラフの傾き）が微小なものとなる。

## 【 0 0 5 3 】

尚、前記広域空燃比センサ 9 は、ここでの詳細な説明は省略するが、例えば特開平 4 - 3 6 9 4 7 1 号公報にて本願出願人が開示した空燃比センサであり、 $O_2$  センサ 8 よりも広い空燃比域において、排ガスの空燃比に対してリニアに変化する出力電圧  $KACT$  を発生するセンサである。以下の説明では、 $O_2$  センサ 8 の出力電圧  $V_{out}$ 、広域空燃比センサ 9 の出力電圧  $KACT$  をそれぞれ単に出力  $V_{out}$ 、 $KACT$  ということがある。

## 【 0 0 5 4 】

本実施形態の装置は、さらに排ガスの空燃比制御や  $O_2$  センサ 8 の素子部 10 の温度制御等の処理を実行するコントロールユニット 16 を備えている。このコントロールユニット 16 は、図示を省略する CPU、RAM、ROM を含むマイクロコンピュータにより構成されたものであり、後述の制御処理を実行するために、前記  $O_2$  センサ 8、広域空燃比センサ 9 からそれらの出力  $V_{out}$ 、 $KACT$  が入力されると共に、エンジン 1 に備えられたセンサ（図示省略）からエンジン 1 の

回転数NE（回転速度）、吸気圧PB（詳しくはエンジン1の吸気管内圧の絶対圧）、大気温度TA等の検出値を示すデータが与えられる。

【0055】

上記コントロールユニット16は、その処理の機能的手段として、エンジン1の排ガスの空燃比を制御する空燃比制御手段17と、 $O_2$ センサ8の素子部10の温度を制御するセンサ温度制御手段18とを具備している。

【0056】

空燃比制御手段17は、触媒装置4によるCO（一酸化炭素）、HC（炭化水素）、 $NO_x$ （窒素酸化物）の良好な浄化性能（浄化率）を確保するように、触媒装置4にエンジン1から供給される排ガスの空燃比を制御する処理を実行するものである。ここで、前述のような出力特性の $O_2$ センサ8を触媒装置4の下流側に配置したとき、触媒装置4に供給する排ガスの空燃比（触媒装置4の上流側の排ガスの空燃比）を、 $O_2$ センサ8の出力Voutがある所定値Vop（図3参照）に整定するような空燃比状態に制御することにより、触媒装置4によるCO、HC、 $NO_x$ の良好な浄化性能を該触媒装置4の劣化状態によらずに確保できる。

【0057】

そこで、空燃比制御手段17は、上記所定値Vopを $O_2$ センサ8の出力Voutの目標値とし、この目標値Vopに $O_2$ センサ8の出力Voutを整定・維持するようにエンジン1から触媒装置4に供給される排ガスの空燃比を制御する。この空燃比制御は、例えば、 $O_2$ センサ8の出力Voutを目標値Vopに収束させるように、フィードバック制御処理により触媒装置4に供給する排ガスの目標空燃比を決定し、この目標空燃比に広域空燃比センサ9の出力KACT（空燃比の検出値）を収束させるように、フィードバック制御処理によりエンジン1の燃料供給量を調整することで実行される。尚、空燃比制御手段17のより具体的な処理は、本願発明の本質をなすものではないので、ここでの詳細な説明は省略するが、例えば本願出願人が特開平11-324767号公報にて公開した明細書の段落番号【0071】～【0362】に記載されているように行われる。

【0058】

ところで、 $O_2$ センサ8の出力特性は、素子部10の温度の影響を受けて変化

する。例えば、素子部 10 の温度が 800℃、750℃、700℃、600℃であるときの  $O_2$  センサ 8 の出力特性は、それぞれ図 3 の実線のグラフ a、破線のグラフ b、一点鎖線のグラフ b、二点鎖線のグラフ d で示すような特性となる。この場合、図 3 を参照して明らかなように、特に 750℃ よりも低い温度域で素子部 10 の温度が変化すると、理論空燃比近傍（前記高感度空燃比域  $\Delta$ ）における  $O_2$  センサ 8 の出力  $V_{out}$  の変化の傾き（感度）や、該高感度空燃比域  $\Delta$  よりもリッチ側における出力  $V_{out}$  のレベル等が変化しやすい。尚、素子部 10 の温度が 750℃ 以上である場合には、素子部 10 の温度変化に対する  $O_2$  センサ 8 の出力特性の変化は微小になり、該出力特性がほぼ一定になる。

#### 【0059】

$O_2$  センサ 8 の出力特性が上記のように素子部 10 の温度状態によって変化するため、その温度状態によっては、前記空燃比制御手段 17 による制御性（安定性や速応性）が悪化する虞れがある。これは、 $O_2$  センサ 8 の出力  $V_{out}$  をある目標値  $V_{op}$  に維持するように排ガスの空燃比を制御する上では、特に、理論空燃比近傍での  $O_2$  センサ 8 の出力特性、すなわち、前記高感度空燃比域  $\Delta$  における出力特性が制御性に大きな影響を及ぼしやすいからである。また、触媒装置 4 の触媒 7 による排ガスの浄化性能が良好に保たれるような  $O_2$  センサ 8 の出力  $V_{out}$  の目標値  $V_{op}$  も、特に、750℃ よりも低い温度域における素子部 9 の温度状態によって変化する。従って、空燃比制御手段 17 による空燃比の制御（ $O_2$  センサ 8 の出力  $V_{out}$  を目標値  $V_{op}$  に維持する制御）を良好に行い、また、触媒装置 4 の浄化性能を良好に確保するためには、 $O_2$  センサ 8 の素子部 10 の温度は、基本的には一定温度に維持されていることが好ましい。

#### 【0060】

この場合、 $O_2$  センサ 8 では、素子部 10 の温度を 750℃ 以上の温度に維持すると、前述のように  $O_2$  センサ 8 の出力特性がほぼ一定になって安定する。また、本願発明者等の知見によれば、素子部 10 の温度を 750℃ 以上の温度で、例えば 800℃ に維持すると、触媒装置 4 の触媒 7 による排ガスの浄化性能が良好に保たれるような  $O_2$  センサ 8 の出力  $V_{out}$  の目標値  $V_{op}$  が、図 3 のグラフ a において参照符号 Y を付した部分、すなわち、 $O_2$  センサ 8 の出力特性のグラフ

aの傾きが空燃比のリッチ化に伴い大きな傾きから微小な傾きに切替る変曲点部分Yに存するようになる。そして、このとき、この目標値 $V_{op}$ に $O_2$ センサ8の出力 $V_{out}$ を維持するような空燃比制御を良好に行うことができる。これは、変曲点部Yにおける $O_2$ センサ8の出力 $V_{out}$ の空燃比に対する感度が過大でも過小でもない適正な感度になるためと考えられる。

## 【0061】

このため、本実施形態では、前記センサ温度制御手段18により、 $O_2$ センサ8の素子部10の温度を前記セラミックヒータ13を介して所望の温度に制御するようにしている。その所望の温度は、基本的には $750^{\circ}\text{C}$ 以上の温度で、例えば $800^{\circ}\text{C}$ である。このセンサ温度制御手段18の制御処理を以下に詳説する。

## 【0062】

センサ温度制御手段18は、その主要な機能を分類すると、図4に示すように、排気通路3での $O_2$ センサ8の配置箇所近傍（排気管6bの中間部分の箇所）の排ガス温度 $T_{gd}$ を逐次推定する排気温オブザーバ19と、その排ガス温度 $T_{gd}$ の推定値を用いて $O_2$ センサ8の素子部10の温度 $T_{O_2}$ 及びセラミックヒータ13の温度 $T_{ht}$ を推定する素子温オブザーバ20（温度推定手段）と、素子部10の温度の目標値Rを設定する目標値設定手段21と、素子部10の温度 $T_{O_2}$ 及びセラミックヒータ13の温度 $T_{ht}$ の推定値、目標値R、並びに排ガス温度 $T_{gd}$ の推定値を用いてセラミックヒータ13の通電制御（セラミックヒータ13への供給電力の制御）を行うヒータコントローラ22（ヒータ制御手段）とを備えている。

## 【0063】

尚、本実施形態では、セラミックヒータ13は、図示を省略するヒータ通電回路にパルス電圧を付与することにより通電制御（PWM制御）されるものであり、該セラミックヒータ13への供給電力は、そのパルス電圧のデューティDUT（パルス電圧の1周期に対するパルス幅の割合）によって規定される。このため、ヒータコントローラ22は、上記ヒータ通電回路に付与するパルス電圧のデューティDUTをセラミックヒータ13を制御するための制御入力（操作量）とし、このデューティDUTを調整することにより、該セラミックヒータ13への供給電力

、ひいては、該ヒータ 1 3 の発熱量を制御するようにしている。また、ヒータコントローラ 2 2 が生成するデューティ DUT は、素子温オブザーバ 2 0 の演算処理でも使用される。

#### 【 0 0 6 4 】

排気温オブザーバ 1 9 は、本実施形態では、エンジン 1 の排気ポート 2 から  $O_2$  センサ 8 の配置箇所までの排気通路 3 ( $O_2$  センサ 8 の上流側の排気通路 3) を該排気通路 3 の延在方向 (排ガスの流れ方向) に沿って複数 (本実施形態では例えば 4 個) の部分排気通路 3 a ~ 3 d に区分けしておき、所定のサイクルタイム (周期) で、排気ポート 2 (排気通路 3 の入り口部分) における排ガスの温度と、各部分排気通路 3 a ~ 3 d における排ガスの温度 (詳しくは各部分排気通路 3 a ~ 3 d の下流端における排ガスの温度) とを上流側のものから順番に推定するものである。これらの部分排気通路 3 a ~ 3 d のうち、部分排気通路 3 a, 3 b は、触媒装置 4 の上流側の排気通路 3 (排気管 6 a により形成された排気通路) を 2 つに区分けしてなる部分排気通路であり、部分排気通路 3 c は、触媒装置 4 の入り口から出口までの部分排気通路 (触媒装置 4 の触媒 7 の内部に形成された排気通路)、部分排気通路 3 d は、触媒装置 4 の出口から  $O_2$  センサ 8 の配置箇所までの部分排気通路である。この排気温オブザーバ 1 9 のアルゴリズムは次のように構築されている。

#### 【 0 0 6 5 】

まず、エンジン 1 の排気ポート 2 における排ガス温度は、エンジン 1 の定常的な運転状態 (詳しくはエンジン 1 の回転数 NE 及び吸気圧 PB が一定に維持される運転状態で) では、基本的にはエンジン 1 の回転数 NE と吸気圧 PB とに応じたものとなる。従って、排気ポート 2 における排ガス温度は、基本的にはエンジン 1 の運転状態を表すパラメータとしての回転数 NE 及び吸気圧 PB の検出値から例えばあらかじめ実験等に基づいて定めたマップに基づいて推定することができる。但し、エンジン 1 の運転状態 (回転数 NE や吸気圧 PB) が変動する場合には、排ガスと排気ポート 2 の近傍の壁部やエンジン 1 の燃焼室等との熱交換によって、排気ポート 2 における排ガス温度は、上記のようにマップにより求められる排ガス温度 (以下、基本排ガス温度 TMAP (NE, PB) という) に対して応答遅れを生じる。

【0066】

そこで、本実施形態では、排気温オブザーバ19は、所定のサイクルタイム（演算処理周期）毎に、エンジン1の回転数NE及び吸気圧PBの検出値（最新の検出値）から基本排ガス温度TMAP(NE, PB)をマップにより求めた後に、さらに排気ポート2における排ガス温度Texgを、次式（1）のように基本排ガス温度TMAP(NE, PB)に対して遅れ（一次遅れ）を伴って追従する値として逐次推定する。

【0067】

【数1】

$$\text{Texg}(k) = (1 - K_{\text{tex}}) \cdot \text{Texg}(k-1) + K_{\text{tex}} \cdot \text{TMAP}(\text{NE}, \text{PB}) \quad \cdots \cdots (1)$$

【0068】

ここで、式（1）中のkは、排気温オブザーバ19の演算処理周期の番数である。また、Ktexはあらかじめ実験等に基づき定められた係数（遅れ係数）であり、 $0 < K_{\text{tex}} < 1$ である。尚、本実施形態では、エンジン1の吸気圧PBは、エンジン1の吸入空気量を表すパラメータとしての意味をもつものである。従って、例えば吸入空気量を直接的に検出するフローセンサが備えられている場合には、そのフローセンサの出力（吸入空気量の検出値）を吸気圧PBの検出値の代わりに用いてもよい。

【0069】

このようにして求められる排気ポート2の排ガス温度Texgの推定値を用いて、各部分排気通路3a～3eにおける排ガスの温度は以下に説明するように推定される。まず、説明の便宜上、一般的に、図5に示すように、大気中でZ軸方向に延びる円管23内を流体が円管23の管壁と熱交換しながら流れる場合における熱伝達に関して説明する。ここで、流体温度Tg、管壁の温度Tw（以下、円管温度Twという）が時刻tとZ軸方向の位置zとの関数Tg(t,z)、Tw(t,z)であるとし、円管23の管壁の熱伝導率は径方向に無限大で、且つZ軸方向には「0」とであると仮定する。また、流体と円管23の管壁との間の熱伝達、並びに、円管23の管壁とその外部の大気との間の熱伝達は、ニュートンの冷却則に従ってそれぞれの温度差に比例するものとする。このとき、次式（2-1）、（2-2）

が成立する。

【0070】

【数2】

$$S_g \cdot \rho_g \cdot C_g \cdot \left( \frac{\partial T_g}{\partial t} + V \cdot \frac{\partial T_g}{\partial z} \right) = \alpha_1 \cdot U \cdot (T_w - T_g) \quad \dots\dots(2-1)$$

$$S_w \cdot \rho_w \cdot C_w \cdot \frac{\partial T_w}{\partial t} = \alpha_1 \cdot U \cdot (T_g - T_w) + \alpha_2 \cdot U \cdot (T_A - T_w) \quad \dots\dots(2-2)$$

【0071】

ここで、 $S_g$ 、 $\rho_g$ 、 $C_g$ はそれぞれ流体の密度、比熱、流路断面積、 $S_w$ 、 $\rho_w$ 、 $C_w$ はそれぞれ円管23の管壁の密度、比熱、断面積、 $V$ は円管23を流れる流体の流速、 $T_A$ は円管23の外部の大気温度である。また、 $U$ は円管23の内周長、 $\alpha_1$ は流体と円管23の管壁との間の熱伝達率、 $\alpha_2$ は円管23の管壁と大気との間の熱伝達率である。尚、大気温度 $T_A$ は、円管23の周囲で一定に維持されているとする。

【0072】

これらの式(2-1)、(2-2)を整理すると、次式(3-1)、(3-2)が得られる。

【0073】

【数3】

$$\frac{\partial T_g}{\partial t} = -V \cdot \frac{\partial T_g}{\partial z} + a \cdot (T_w - T_g) \quad \dots\dots(3-1)$$

$$\frac{\partial T_w}{\partial t} = b \cdot (T_g - T_w) + c \cdot (T_A - T_w) \quad \dots\dots(3-2)$$

【0074】

但し、これらの式(3-1)、(3-2)において、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ は定数であり、 $a = \alpha_1 \cdot U / (S_g \cdot \rho_g \cdot c_g)$ 、 $b = \alpha_1 \cdot U / (S_w \cdot \rho_w \cdot c_w)$ 、 $c = \alpha_2 \cdot U / (S_w \cdot \rho_w \cdot c_w)$ である。

【0075】

式(3-1)の右辺第1項は、位置 $z$ での流体の流れ方向の温度勾配と流体の

流速とに応じた流体温度  $T_g$  の時間的変化率（単位時間当たりの温度変化量）を表す移流項である。また、式（3-1）の右辺第2項は、位置  $z$  での流体温度  $T_g$  と円管温度  $T_w$  との偏差に応じた流体温度  $T_g$  の時間的変化率（単位時間当たりの温度変化量）、すなわち、流体と円管23の管壁との間の熱伝達に伴う流体温度  $T_g$  の時間的変化率を表す熱伝達項である。従って、この式（3-1）は、位置  $z$  での流体温度  $T_g$  の時間的変化率  $\partial T_g / \partial t$  が、上記移流項の温度変化成分と、上記熱伝達項の温度変化成分とに応じたもの（それらの温度変化成分の総和）になるということを示すものである。

【0076】

また、式（3-2）の右辺第1項は、位置  $z$  での円管温度  $T_w$  と流体温度  $T_g$  との偏差に応じた円管温度  $T_w$  の時間的変化率（単位時間当たりの温度変化量）、すなわち、位置  $z$  での流体と円管23の管壁との間の熱伝達に伴う円管温度  $T_w$  の時間的変化率を表す熱伝達項である。また、式（3-2）の右辺第2項は、位置  $z$  での円管温度  $T_w$  と外部の大気温度  $T_A$  との偏差に応じた円管温度  $T_w$  の時間的変化率（単位時間当たりの温度変化量）、すなわち、位置  $z$  での円管23の管壁から大気への放熱に応じた円管温度  $T_w$  の時間的変化率を表す放熱項である。そして、式（3-2）は、位置  $z$  での円管温度  $T_w$  の時間的変化率  $\partial T_w / \partial t$  が、上記熱伝達項の温度変化成分と放熱項の温度変化成分とに応じたもの（それらの温度変化成分の総和）になるということを示すものである。

【0077】

これらの式（3-1）、（3-2）を差分法によって書き改めて整理すると次式（4-1）、（4-2）が得られる。

【0078】

【数4】

$$T_g(t+\Delta t, z) = T_g(t, z) - \frac{V \cdot \Delta t}{\Delta z} \cdot (T_g(t, z) - T_g(t, z-\Delta z)) + a \cdot \Delta t \cdot (T_w(t, z) - T_g(t, z)) \quad \cdots \cdots (4-1)$$

$$T_w(t+\Delta t, z) = T_w(t, z) + b \cdot \Delta t \cdot (T_g(t, z) - T_w(t, z)) + c \cdot \Delta t \cdot (T_A - T_w(t, z)) \quad \cdots \cdots (4-2)$$



## 【0079】

これらの式(4-1)、(4-2)は、位置 $z$ 、時刻 $t$ での流体温度 $T_g(t, z)$ 及び円管温度 $T_w(t, z)$ と、位置 $z$ の直前(上流側)の位置 $z-\Delta z$ における時刻 $t$ での流体温度 $T_g(t, z-\Delta z)$ とが判れば、位置 $z$ における次の時刻 $t+\Delta t$ での流体温度 $T_g(t+\Delta t, z)$ 、 $T_w(t+\Delta t, z)$ を求めることができ、さらにこれらの式を直列的に連立させることで、位置 $z+\Delta z$ 、 $z+2\Delta z$ 、……での流体温度 $T_g$ 及び円管温度 $T_w$ を順番に求めることができることを意味する。つまり、各位置 $z$ 、 $z+\Delta z$ 、 $z+2\Delta z$ 、…での $T_g$ 、 $T_w$ の初期値( $t=0$ での初期値)を与えるとともに、円管23の $Z$ 軸方向の任意の原点(例えば円管23の入り口)の流体温度 $T_g(t, 0)$ を与えれば(ここでは $z-\Delta z=0$ とする)、位置 $z$ 、 $z+\Delta z$ 、 $z+2\Delta z$ 、…における各時刻 $t$ 、 $t+\Delta t$ 、 $t+2\Delta t$ 、…での $T_g$ 、 $T_w$ を算出できる。

## 【0080】

この場合、位置 $z$ での流体温度 $T_g(t, z)$ は、所定時間毎に、流速 $V$ と位置 $z$ での温度勾配とに応じた温度変化成分(式(4-1)の第2項が表す温度変化成分)と、位置 $z$ での流体温度 $T_g$ と円管温度 $T_w$ との偏差に応じた温度変化成分(式(4-1)の第3項が表す温度変化成分)とを、初期値 $T_g(0, z)$ に累積加算(積分)することにより算出できる。他の位置 $z+\Delta z$ 、 $z+2\Delta z$ 、…についても同様である。また、位置 $z$ での円管温度 $T_w(t, z)$ は、所定時間毎に、位置 $z$ での流体温度 $T_g$ と円管温度 $T_w$ との偏差に応じた温度変化成分(式(4-2)の第2項が表す温度変化成分)と、位置 $z$ での円管温度 $T_w$ と大気温度 $T_A$ と偏差に応じた温度変化成分(式(4-2)の第3項が表す温度変化成分)を、初期値 $T_w(0, z)$ に累積加算(積分)することにより算出できる。

## 【0081】

そこで、本実施形態では、排気温オブザーバ19は、式(4-1)、(4-2)のモデル式を基本式として用い、各部分排気通路3a~3dにおける排ガスの温度を次のようにして求める。

## 【0082】

まず、部分排気通路3a~3dのうち、部分排気通路3a、3bは、いずれも排気管6aを通路形成物として形成されている。そして、本実施形態では、これ

らの部分排気通路 3 a, 3 b における排ガスの温度を推定するために、前記円管 23 に関して説明した場合と同様に、排ガスの流速と温度勾配（排ガスの流れ方向での温度勾配）とに応じた温度変化と、排ガスと排気管 6 a との間の熱伝達と、排気管 6 a から大気への放熱とを考慮する。

【0083】

この場合、部分排気通路 3 a における排ガス温度  $T_{ga}$  の推定値は、部分排気通路 3 a における排気管 6 a の温度  $T_{wa}$ （以下、排気管温度  $T_{wa}$  という）の推定値と併せて、排気温オブザーバ 19 の処理のサイクルタイム毎に、次のモデル式（5-1）、（5-2）により求められる。また、部分排気通路 3 b における排ガスの温度  $T_{gb}$  の推定値は、部分排気通路 3 b における排気管温度  $T_{wb}$  の推定値と併せて、排気温オブザーバ 19 の処理のサイクルタイム毎に、次のモデル式（6-1）、（6-2）により求められる。尚、式（5-1）、（5-2）により求められる排ガス温度  $T_{ga}$  及び排気管温度  $T_{wa}$  はより詳しくは、部分排気通路 3 a の下流端近傍における温度の推定値である。同様に、式（6-1）、（6-2）により求められる排ガス温度  $T_{gb}$  及び排気管温度  $T_{wb}$  はより詳しくは、部分排気通路 3 b の下流端近傍における温度の推定値である。

【0084】

【数 5】

$$T_{ga}(k+1) = T_{ga}(k) - V_g \cdot \frac{dt}{L_a} \cdot (T_{ga}(k) - T_{exg}(k)) + A_a \cdot dt \cdot (T_{wa}(k) - T_{ga}(k)) \quad \dots\dots (5-1)$$

$$T_{wa}(k+1) = T_{wa}(k) + B_a \cdot dt \cdot (T_{ga}(k) - T_{wa}(k)) + C_a \cdot dt \cdot (T_A(k) - T_{wa}(k)) \quad \dots\dots (5-2)$$

【0085】

【数 6】

$$T_{gb}(k+1) = T_{gb}(k) - V_g \cdot \frac{dt}{L_b} \cdot (T_{gb}(k) - T_{ga}(k)) + A_b \cdot dt \cdot (T_{wb}(k) - T_{gb}(k))$$

.....(6-1)

$$T_{wb}(k+1) = T_{wb}(k) + B_b \cdot dt \cdot (T_{gb}(k) - T_{wb}(k)) + C_b \cdot dt \cdot (T_A(k) - T_{wb}(k))$$

.....(6-2)

【0 0 8 6】

これらの式(5-1)、(5-2)、(6-1)、(6-2)中の $dt$ は、排気温オブザーバ19の処理の周期(サイクルタイム)であり、前記式(4-1)、(4-2)の $\Delta t$ に相当する。この $dt$ の値はあらかじめ定められている。また、式(5-1)、(6-1)中の $L_a$ 、 $L_b$ はそれぞれ部分排気通路3a、3bの長さ(固定値)であり、前記式(4-1)の $\Delta z$ に相当する。また、式(5-1)、(5-2)中の $A_a$ 、 $B_a$ 、 $C_a$ 、並びに式(6-1)、(6-2)中の $A_b$ 、 $B_b$ 、 $C_b$ は、それぞれ式(4-1)、(4-2)の $a$ 、 $b$ 、 $c$ に相当するモデル係数であり、それらの値はあらかじめ実験やシミュレーションに基づいて設定(同定)される。また、式(5-1)、(6-1)中の $V_g$ は排ガスの流速を示すパラメータ(これは後述するように求められる)であり、式(4-1)の $V$ に相当するものである。

【0 0 8 7】

ここで、式(5-1)により排ガス温度 $T_{ga}$ の新たな推定値 $T_{ga}(k+1)$ を算出するために必要な排ガス温度 $T_{exg}(k)$ (排気ポート2における排ガス温度)は、基本的には前記式(1)により求められた最新値が用いられる。同様に、式(6-1)により排ガス温度 $T_{gb}$ の新たな推定値 $T_{gb}(k+1)$ を算出するために必要な排ガス温度 $T_{ga}(k)$ (部分排気通路3aにおける排ガス温度)は、基本的には前記式(5-1)により求められた最新値が用いられる。また、式(5-2)、(6-2)の演算に必要な大気温度 $T_A(k)$ は、図示しない大気温度センサ(これは本実施形態ではエンジン1に備えられたセンサが代用的に用いられる)により検出された大気温度の最新値が用いられる。さらに、式(5-1)、(6-1)の演算に必要な流速パラメータ $V_g$ は、本実施形態では、エンジン1の回転数 $NE$ 及

び吸気圧PBの最新の検出値から、次式（7）により算出された値が用いられる。

【0088】

【数7】

$$V_g = \frac{NE}{NEBASE} \cdot \frac{PB}{PBBASE} \quad \dots\dots(7)$$

【0089】

この式（7）中のNEBASE、PBBASEは、それぞれあらかじめ定めた所定回転数、所定吸気圧であり、それぞれ例えばエンジン1の最大回転数、760mmHg（≒101kPa）に設定されている。この式（7）により算出される流速パラメータ $V_g$ は排ガスの流速に比例し、また、 $V_g \leq 1$ となる。

【0090】

尚、排ガス温度 $T_{ga}$ 及び排気管温度 $T_{wa}$ 、並びに排ガス温度 $T_{gb}$ 及び排気管温度 $T_{wb}$ のそれぞれの推定値の初期値 $T_{ga}(0)$ 、 $T_{wa}(0)$ 、 $T_{gb}(0)$ 、 $T_{wb}(0)$ は、本実施形態では、エンジン1の運転開始時（エンジン1の始動時）に前記大気温度センサ（図示しない）により検出された大気温度に設定される。

【0091】

次に、部分排気通路3cは、触媒装置4の触媒7を通路形成物として形成された排気通路である。そして、この触媒7はその排ガス浄化作用（詳しくは酸化・還元反応）によって自己発熱を伴い、その発熱量（単位時間当たりの発熱量）は概ね排ガスの流速に比例する。これは、排ガスの流速が大きい程、単位時間当たりに触媒7と反応する排ガス成分が多くなるためである。

【0092】

そこで、本実施形態では、部分排気通路3cにおける排ガス温度の推定に関しては、その推定を精度よく行うために、排ガスの流速と温度勾配とに応じた温度変化と、排ガスと触媒装置4の触媒7との間の熱伝達と、該触媒7から大気への放熱とを考慮することに加えて、さらに、該触媒7の自己発熱を考慮する。

【0093】

この場合、部分排気通路3cにおける排ガス温度 $T_{gc}$ の推定値は、部分排気通路3cを形成する触媒7の温度 $T_{wc}$ （以下、触媒温度 $T_{wc}$ という）の推定値と併

せて、排気温オブザーバ19の処理のサイクルタイム毎に、次のモデル式(8-1)、(8-2)により求められる。尚、式(8-1)により求められる排ガス温度 $T_{gc}$ 及び触媒温度 $T_{wc}$ はより詳しくは、部分排気通路3aの下流端(触媒装置4の出口近傍)における温度の推定値である。

【0094】

【数8】

$$T_{gc}(k+1) = T_{gc}(k) - V_g \cdot \frac{dt}{L_c} \cdot (T_{gc}(k) - T_{gb}(k)) + A_c \cdot dt \cdot (T_{wc}(k) - T_{gc}(k)) \quad \dots\dots(8-1)$$

$$T_{wc}(k+1) = T_{wc}(k) + B_c \cdot dt \cdot (T_{gc}(k) - T_{wc}(k)) + C_c \cdot dt \cdot (T_A(k) - T_{wc}(k)) + D_c \cdot dt \cdot V_g \quad \dots\dots(8-2)$$

【0095】

式(8-1)中の $L_c$ は部分排気通路3cの長さ(固定値)であり、前記式(4-1)の $\Delta z$ に相当する。また、式(8-1)、(8-2)中の $A_c$ 、 $B_c$ 、 $C_c$ は、それぞれ式(4-1)、(4-2)の $a$ 、 $b$ 、 $c$ に相当するモデル係数であり、それらの値はあらかじめ実験やシミュレーションに基づいて設定(同定)される。また、式(8-2)の右辺第4項は、触媒装置4の触媒7の自己発熱による触媒7の温度変化成分(排気温オブザーバ19の処理の1周期当たりの温度変化量)を示すものであり、流速パラメータ $V_g$ に比例する。そして、この第4項の $D_c$ は、前記 $A_c \sim C_c$ と同様に、その値があらかじめ実験やシミュレーションに基づいて設定(同定)されるモデル係数である。従って、式(8-2)は、前記式(4-2)の右辺に、さらに通路形成物(ここでは触媒7)の自己発熱に伴う温度変化成分を付加したものに相当する。

【0096】

尚、式(8-1)、(8-2)中の $dt$ 、 $V_g$ の意味及びその値は、前記式(5-1)～(6-2)のものと同一である。また、式(8-2)の演算で用いる $T_A$ の値は、前記式(5-2)、(6-2)で用いるものと同一である。さらに、排ガス温度 $T_{gc}$ 及び触媒温度 $T_{wc}$ の初期値 $T_{gc}(0)$ 、 $T_{wc}(0)$ は、本実施形態では

、式(5-1)～(6-2)の場合と同様、エンジン1の運転開始時における大気温度の検出値である。

【0097】

次に、部分排気通路3dは、それを形成する通路形成物が、前記部分排気通路3a、3bと同様の排気管6bである。従って、この部分排気通路3dの排気温度Tgd及び排気管温度Twd(より詳しくは部分排気通路3dの下流端における温度)は、前記式(5-1)～(6-2)と同様の次のモデル式(9-1)、(9-2)により求められる。

【0098】

【数9】

$$Tgd(k+1) = Tgd(k) - Vg \cdot \frac{dt}{Ld} \cdot (Tgd(k) - Tgc(k)) + Ad \cdot dt \cdot (Twd(k) - Tgd(k))$$

……(9-1)

$$Twd(k+1) = Twd(k) + Bd \cdot dt \cdot (Tgd(k) - Twd(k)) + Cd \cdot dt \cdot (TA(k) - Twd(k))$$

……(9-2)

【0099】

式(9-1)中のLdは部分排気通路3dの長さ(固定値)であり、前記式(4-1)のΔzに相当する。また、式(9-1)、(9-2)中のAd、Bd、Cdは、それぞれ式(4-1)、(4-2)のa、b、cに相当するモデル係数であり、それらの値はあらかじめ実験やシミュレーションに基づいて設定(同定)される。

【0100】

尚、式(9-1)、(9-2)中のdt、Vgの意味及びその値は、前記式(5-1)～(6-2)のものと同一である。また、式(9-2)の演算で用いるTAの値は、前記式(5-2)、(6-2)、(8-2)で用いるものと同一である。さらに、排ガス温度Tgd及び触媒温度Twdの推定値の初期値Tgd(0)、Twd(0)は、式(5-1)～(6-2)の場合と同様、エンジン1の運転開始時における大気温度の検出値である。

【0101】

以上説明した排気温度オブザーバ 19 の処理によって、各サイクルタイム毎に、エンジン 1 の排気ポート 2 及び各部分排気通路 3 a ~ 3 d の排ガス温度  $T_{exg}$ 、 $T_{ga}$ 、 $T_{gb}$ 、 $T_{gc}$ 、 $T_{gd}$  の推定値が上流側から順番に求められる。この場合、最下流側の部分排気通路 3 d の排ガス温度  $T_{gd}$  の推定値は、 $O_2$  センサ 8 の配置箇所近傍での排ガスの温度に相当するものとなり、該排ガス温度  $T_{gd}$  の推定値が  $O_2$  センサ 8 の配置箇所近傍での排ガス温度の推定値として得られる。

#### 【0102】

この排気温度オブザーバ 19 の推定処理のアルゴリズムをブロック図で表すと、図 6 に示すように表される。同図 6 では、前記式 (1) のモデル式を排気ポート熱モデル 24、前記式 (5-1) 及び (5-2) のモデル式と、式 (6-1) 及び (6-2) のモデル式とをそれぞれ CAT 前排気系熱モデル 25、26、式 (8-1) 及び (8-2) のモデル式を CAT 部排気系熱モデル 27、式 (9-1) 及び (9-2) のモデル式を CAT 後排気系熱モデル 28 と称している。同図示のように、各熱モデル 24 ~ 28 には、エンジン 1 の回転数 NE 及び吸気圧 PB の検出値が与えられる。尚、排気ポート熱モデル 24 に与えられる NE、PB は、基本排ガス温度 TMAP を求めるためのものであり、排気系熱モデル 25 ~ 28 に与えられる NE、PB は、前記流速パラメータ  $V_g$  の値を求めるためのものである。さらに、排気系熱モデル 25 ~ 28 には、大気温度  $T_A$  の検出値が与えられる。そして、CAT 前排気系熱モデル 25、CAT 前排気系熱モデル 26、CAT 部排気系熱モデル 27、CAT 後排気系熱モデル 28 には、それぞれの一つ上位側の熱モデル 24、25、26、27 の出力としての排ガス温度  $T_{exg}$ 、 $T_{ga}$ 、 $T_{gb}$ 、 $T_{gc}$  の推定値がそれぞれ与えられ、最終的に CAT 後排気系熱モデル 28 により、 $O_2$  センサ 8 の配置箇所近傍での排ガス温度  $T_{gd}$  の推定値が得られる。

#### 【0103】

尚、本実施形態では、各部分排気通路 3 a ~ 3 d の通路形成物（排気管 6 a、触媒装置 4 の触媒 7、排気管 6 b）の温度を推定するために、エンジン 1 に備えた大気温度センサの検出値を代用するようにしたが、排気通路 3 の外方に大気温度センサを別途配置しておき、その大気温度センサの検出値を用いるようにしてもよい。

## 【0104】

次に前記素子温オブザーバ20について説明する。素子温オブザーバ20は、本実施形態では、 $O_2$ センサ8の素子部10とこれに接触する排ガスとの間の熱伝達、並びに、該素子部10とこれを加熱するセラミックヒータ13（以下、単にヒータ13という）との間の熱伝達を考慮して素子部10の温度 $T_{02}$ を所定のサイクルタイムで逐次推定するものである。そして、この推定を行うためにヒータ13の温度 $T_{ht}$ の推定も併せて行うようにしている。この場合、ヒータ13の温度 $T_{ht}$ の推定処理においては、該ヒータ13と素子部10との間の熱伝達を考慮すると共に、該ヒータ13への電力供給に伴う該ヒータ13の発熱を考慮する。このような推定処理を行う素子温オブザーバ20の推定アルゴリズムは以下に説明するように構築されている。

## 【0105】

すなわち、素子温オブザーバ20は、 $O_2$ センサ8の素子部10の温度 $T_{02}$ （以下、素子温度 $T_{02}$ という）の推定値と、ヒータ13の温度 $T_{ht}$ （以下、ヒータ温度 $T_{ht}$ という）の推定値とを、それぞれ次のモデル式（10-1）、（10-2）によりそれぞれ所定のサイクルタイムで逐次求める。式（10-1）は、素子温モデルの式であり、式（10-2）はヒータ温モデルの式である。

## 【0106】

## 【数10】

$$T_{02}(k+1) = T_{02}(k) + A_x \cdot dt \cdot (T_{gd}(k) - T_{02}(k)) + B_x \cdot dt \cdot (T_{ht}(k) - T_{02}(k))$$

$$\cdots \cdots (10-1)$$

$$T_{ht}(k+1) = T_{ht}(k) - C_x \cdot dt \cdot (T_{ht}(k) - T_{02}(k)) + D_x \cdot dt \cdot DUT(k)$$

$$\cdots \cdots (10-2)$$

## 【0107】

式（10-1）は、サイクルタイム毎の素子部10の温度変化量が、 $O_2$ センサ8の配置箇所近傍での排ガス温度 $T_{gd}$ （前記部分排気通路3dの排ガス温度）と素子温度 $T_{02}$ との偏差に応じた温度変化成分（式（10-1）の右辺第2項）、すなわち、素子部10とこれに接触する排ガスとの間の熱伝達に伴う温度変化



成分と、素子温度 $T_{02}$ とヒータ温度 $T_{ht}$ との偏差に応じた温度変化成分（式（10-1）の右辺第3項）、すなわち、素子部10とセラミックヒータ13との間の熱伝達に伴う温度変化成分とに応じたもの（それらの温度変化成分の総和）になるということを示している。

#### 【0108】

また、式（10-2）は、サイクルタイム毎のヒータ13の温度変化量が、素子温度 $T_{02}$ とヒータ温度 $T_{ht}$ との偏差に応じた温度変化成分（式（10-2）の右辺第2項）、すなわち、素子部10とヒータ13との間の熱伝達に伴う温度変化成分と、ヒータコントローラ22が後述するように生成するデューティDUTに応じた温度変化成分、すなわちヒータ13への電力供給による該ヒータ13の発熱に伴う温度変化成分とに応じたもの（それらの温度変化成分の総和）になるということを示している。

#### 【0109】

尚、式（10-1）、（10-2）中の $A_x$ 、 $B_x$ 、 $C_x$ 、 $D_x$ は、その値があらかじめ実験やシミュレーションに基づいて設定（同定）されるモデル係数である。また、 $dt$ は素子温オブザーバ20の処理の周期（サイクルタイム）であり、本実施形態では前述の排気温オブザーバ19の処理のサイクルタイム（前記式（5-1）～（9-2）の $dt$ ）と同一の値に設定されている。

#### 【0110】

ここで、式（10-2）の演算に必要なDUT(k)は、ヒータコントローラ22が後述するように算出したデューティDUTの最新値が用いられる。さらに、素子温度 $T_{02}$ 及びヒータ温度 $T_{ht}$ の推定値の初期値 $T_{02}(0)$ 、 $T_{ht}(0)$ は、本実施形態では、エンジン1の運転開始時における大気温度の検出値である。

#### 【0111】

以上説明したアルゴリズムにより、素子温オブザーバ20は、素子温度 $T_{02}$ 及びヒータ温度 $T_{ht}$ の推定値を逐次算出する。

#### 【0112】

次に前記ヒータコントローラ22について説明する。ヒータコントローラ22は、最適予見制御アルゴリズムによりヒータ13に対する制御入力（操作量）と

してのデューティDUTを逐次生成し、そのデューティDUTでヒータ13への供給電力を制御するものである。

【0113】

この場合、本実施形態では、素子温度 $T_{02}$ とそれに対する目標値との偏差と、その偏差の所定時間毎の変化量（これは偏差の変化速度に相当する）と、ヒータ温度 $T_{ht}$ の所定時間毎の変化量（これはヒータ温度 $T_{ht}$ の変化速度に相当する）とに着目し、これらをヒータコントローラ22の制御対象に係わる状態量として、該制御対象のモデル式を導入している。そして、ヒータコントローラ22のアルゴリズムは以下に説明するように構築されている。

【0114】

まず、制御対象のモデル式について説明する。素子温度 $T_{02}$ 及びヒータ温度 $T_{ht}$ の所定時間毎の変化量 $\Delta T_{02}$ 、 $\Delta T_{ht}$ に着目すると、これらの変化量 $\Delta T_{02}$ 、 $\Delta T_{ht}$ は、それぞれ素子温オブザーバ20に係わる前記モデル式（10-1）、（10-2）に基づいて、次式（11-1）、（11-2）式により与えられる。

【0115】

【数11】

$$\begin{aligned}\Delta T_{02}(k+1) &= \Delta T_{02}(k) + A_x \cdot dt \cdot (\Delta T_{gd}(k) - \Delta T_{02}(k)) \\ &\quad + B_x \cdot dt \cdot (\Delta T_{ht}(k) - \Delta T_{02}(k)) \\ &= (1 - A_x \cdot dt - B_x \cdot dt) \cdot \Delta T_{02}(k) \\ &\quad + A_x \cdot dt \cdot \Delta T_{gd}(k) + B_x \cdot dt \cdot \Delta T_{ht}(k) \\ &\quad \dots\dots (11-1)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta T_{ht}(k+1) &= \Delta T_{ht}(k) - C_x \cdot dt \cdot (\Delta T_{ht}(k) - \Delta T_{02}(k)) \\ &\quad + D_x \cdot dt \cdot \Delta DUT(k) \\ &= (1 - C_x \cdot dt) \cdot \Delta T_{ht}(k) + C_x \cdot dt \cdot \Delta T_{02}(k) \\ &\quad + D_x \cdot dt \cdot \Delta DUT(k) \quad \dots\dots (11-2)\end{aligned}$$

【0116】

尚、これらの式（11-1）、（11-2）において、 $\Delta T_{02}(k) = T_{02}(k+1) - T_{02}(k)$ 、 $\Delta T_{ht}(k) = T_{ht}(k+1) - T_{ht}(k)$ 、 $\Delta T_{gd}(k) = T_{gd}(k+1) - T_{gd}(k)$ 、 $\Delta DUT(k) = DUT(k+1) - DUT(k)$ である。

【0117】

次に、素子温度  $T_{02}$  の目標値を  $R$  とし、それらの間の偏差  $e$  (所定のサイクルタイム毎の偏差。以下、素子温偏差  $e$  という) を次式 (12) により定義する。

【0118】

【数12】

$$e(k) = T_{02}(k) - R(k) \quad \dots\dots(12)$$

【0119】

このとき、この素子温偏差  $e$  のサイクルタイム毎の変化量  $\Delta e$  (以下、素子温偏差変化量  $\Delta e$  という) は、前記式 (11-1)、(12) に基づいて、次式 (13) により与えられる。

【0120】

【数13】

$$\begin{aligned} \Delta e(k+1) &= \Delta T_{02}(k+1) - \Delta R(k+1) \\ &= (1 - A_x \cdot dt - B_x \cdot dt) \cdot \Delta e(k) + A_x \cdot dt \cdot \Delta T_{gd}(k) + B_x \cdot dt \cdot \Delta T_{ht}(k) \\ &\quad - \Delta R(k+1) + (1 - A_x \cdot dt - B_x \cdot dt) \cdot \Delta R(k) \\ &\quad \dots\dots(13) \end{aligned}$$

【0121】

尚、式 (13) において、 $\Delta e(k) = e(k+1) - e(k)$ 、 $\Delta R(k) = R(k+1) - R(k)$  である。また、この式 (13) の導出過程においては、 $\Delta T_{02} = \Delta e(k) + \Delta R(k)$  という関係式 (これは式 (12) に基づく) が用いられている。

【0122】

さらに、前記式 (11-2) に、 $\Delta T_{02} = \Delta e(k) + \Delta R(k)$  という関係式を適用して整理すると、次式 (14) が得られる。

【0123】

【数14】

$$\begin{aligned} \Delta T_{ht}(k+1) &= (1 - C_x \cdot dt) \cdot \Delta T_{ht}(k) + C_x \cdot dt \cdot \Delta e(k) \\ &\quad + D_x \cdot dt \cdot \Delta DUT(k) + C_x \cdot dt \cdot \Delta R(k) \quad \dots\dots(14) \end{aligned}$$

【0124】

ここで、状態量ベクトル  $X0(k) = (e(k), \Delta e(k), \Delta T_{ht}(k))^T$  を導入すると ( $T$  は転置を意味する)、前記式 (14)、(15) と、 $e(k+1) = e(k) + \Delta e(k)$  という関係式とから、次式 (15) が得られる。

【 0 1 2 5 】

【数 1 5】

$$X0(k+1) = \Phi \cdot X0(k) + G \cdot \Delta DUT(k) + Gd \cdot \Delta Tgd(k) + Gr \cdot R0(k+1) \quad \dots\dots(15)$$

$$\text{但し、 } X0(k) = (e(k), \Delta e(k), \Delta Tht(k))^T$$

$$R0(k+1) = (\Delta R(k+1), \Delta R(k))^T$$

$$G = (0, 0, Dx \cdot dt)^T$$

$$Gd = (0, Ax \cdot dt, 0)^T$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 - Ax \cdot dt - Bx \cdot dt & Bx \cdot dt \\ 0 & Cx \cdot dt & 1 - Cx \cdot dt \end{bmatrix}$$

$$Gr = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 1 - Ax \cdot dt - Bx \cdot dt \\ 0 & Cx \cdot dt \end{bmatrix}$$

【 0 1 2 6 】

尚、式 (1 5) 中の  $R0$ 、 $G$ 、 $Gd$  は、それぞれ同式 (1 5) の但し書きで定義されたベクトルであり、 $\Phi$ 、 $Gr$  はそれぞれ同式 (1 5) の但し書きで定義された行列である。

【 0 1 2 7 】

この式が、ヒータコントローラ 2 2 の制御処理に係わる制御対象のモデルの基本式である。

【 0 1 2 8 】

ところで、上述の説明は、ヒータコントローラ 2 2 による制御処理の周期を前記排気温オブザーバ 1 9 や素子温オブザーバ 2 0 の演算処理の周期  $dt$  と同一として行っている。このため式 (1 5) のベクトル  $G$ 、 $Gd$  並びに行列  $\Phi$ 、 $Gr$  では、 $dt$  が用いられている。この場合、排気温オブザーバ 1 9 や素子温オブザーバ 2 0 の演算処理は、温度推定の精度を高めるために、比較的早い周期（例えば 2 0 ～ 5 0 msec の周期）で行うことが望ましい。しかるに、ヒータコントローラ 2 2 の制御処理に関しては、制御入力（デューティ  $DUT$ ）に対する素子温度の変化の応答速度が比較的遅い（周波数換算で数 Hz 程度）であるため、該制御処理の周

期は、排気温オブザーバ19や素子温オブザーバ20の演算処理の周期dtよりも長くてもよい。また、後述する最適予見制御では、素子温度 $T_{02}$ の目標値Rの未来値を一定時間分、記憶保持しておく必要があるため、ヒータコントローラ22の制御処理の周期が短いと、目標値Rに対するメモリの記憶容量が大きくなる。

## 【0129】

そこで、本実施形態では、ヒータコントローラ22の制御処理の周期（サイクルタイム）は、排気温オブザーバ19や素子温オブザーバ20の演算処理の周期dtよりも長い値dte（例えば300～500m sec）に設定している。

## 【0130】

このため、本実施形態では、ヒータコントローラ22の制御対象のモデル式は、ヒータコントローラ22の制御処理の周期dteを用いて、前記式（15）から次式（16）に書き改められる。

## 【0131】

## 【数16】

$$X0(n+1) = \Phi \cdot X0(n) + G \cdot \Delta DUT(n) + Gd \cdot \Delta Tgd(n) + Gr \cdot R0(n+1) \quad \dots\dots(16)$$

但し、 $X0(n) = (e(n), \Delta e(n), \Delta Tht(n))^T$

$$R0(n+1) = (\Delta R(n+1), \Delta R(n))^T$$

$$G = (0, 0, Dx \cdot dte)^T$$

$$Gd = (0, Ax \cdot dte, 0)^T$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 - Ax \cdot dte - Bx \cdot dte & Bx \cdot dte \\ 0 & Cx \cdot dte & 1 - Cx \cdot dte \end{bmatrix}$$

$$Gr = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 1 - Ax \cdot dte - Bx \cdot dte \\ 0 & Cx \cdot dte \end{bmatrix}$$

## 【0132】

この式（16）がヒータコントローラ22の制御処理のアルゴリズムで実際に用いる制御対象のモデル式である。ここで、この式（16）中のnはヒータコントローラ22の制御処理の周期dteの番数を示すものである。

## 【0133】

このモデル式を用いてヒータコントローラ22の制御処理のアルゴリズム（最適予見制御のアルゴリズム）は次のように構築されている。前記式（16）のモデル式に対して、素子温度 $T_{02}$ の目標値 $R$ が $M_r$ ステップ後（ヒータコントローラ22の制御処理の周期 $d_{tc}$ の $M_r$ 倍の時間後）の未来まで設定されており、また、外乱入力となる排ガス温度 $T_{gd}$ が $M_d$ ステップ後（ヒータコントローラ22の制御処理の周期 $d_{tc}$ の $M_d$ 倍の時間後）の未来まで判っているとする。尚、以下の説明では、 $M_r$ を目標値予見時間、 $M_d$ を排ガス温度予見時間と称する。これらの予見時間 $M_r$ 、 $M_d$ は、ヒータコントローラ22の制御処理の1周期 $d_{tc}$ を単位として表した整数値である。

## 【0134】

このとき、次式（17）の評価関数 $J_0$ の値を最小化するような制御入力 $\Delta DUT$ を生成するコントローラが最適予見サーボコントローラとなる。

## 【0135】

## 【数17】

$$J_0 = \sum_{n=M+1}^{\infty} [X_0^T(n) \cdot Q_0 \cdot X_0(n) + \Delta DUT^T(n) \cdot H_0 \cdot \Delta DUT(n)] \quad \cdots \cdots (17)$$

## 【0136】

ここで、式（17）における $M$ は、目標値予見時間 $M_r$ 、排ガス温度予見時間 $M_d$ のうちのいずれか大きい方の値、すなわち、 $M = \max(M_r, M_d)$ である。また、 $Q_0$ 、 $H_0$ は、それぞれ状態量ベクトル $X_0$ の収束性、制御入力 $\Delta DUT$ のパワー（大きさ）を調整するための重み行列である。この場合、 $X_0$ は3次のベクトルであるので、 $Q_0$ は3行3列の対角行列である。また、 $\Delta DUT$ はスカラーであるので、 $H_0$ もスカラーである。尚、本実施形態では、ヒータ13による電力消費を少なくするために、 $Q_0$ は例えば単位行列（全ての対角成分が「1」である対角行列）に設定する一方、 $H_0$ は行列 $Q_0$ の対角成分に比して大きな値（例えば1000）に設定されている。また、前記目標値予見時間 $M_r$ 及び排ガス温度予見時間 $M_d$ に関しては、本実施形態では、ヒータコントローラ22の制御処理の周期を300～500msecとして、 $M_r$ は、例えば20に設定され、 $M_d$ は例えば10に

設定されている。

【0137】

前記式(17)の評価関数の値を最小化する制御入力 $\Delta DUT$ は、次式(18)によって与えられる。この場合、本実施形態では、排ガス温度 $T_{gd}$ に関しては、その $T_{gd}$ が $Md$ ステップ後の未来まで現在値に維持されるとする。

【0138】

【数18】

$$\Delta DUT(n) = F_0 \cdot X_0(n) + \sum_{i=1}^{Mr} [Fr_0(i) \cdot R_0(n+i)] + F_{dt} \cdot \Delta T_{gd}(n) \dots\dots(18)$$

【0139】

この式(18)の右辺第1項の $F_0$ は3次の行ベクトル( $F_{s0}$ ,  $F_{e0}$ ,  $F_{x0}$ )、右辺第2項( $\Sigma$ の項)の $Fr_0(i)$  ( $i=1, 2, \dots, Mr$ )はそれぞれ2次の行ベクトル( $Fr_{01}(i)$ ,  $Fr_{02}(i)$ )、右辺第3項の $F_{dt}$ はスカラーであり、それぞれ、次式(19-1)～(19-3)により与えられる。尚、本実施形態では、 $Md$ ステップ後の未来まで排ガス温度 $T_{gd}$ が現在値に維持されたとしたため、右辺第3項の $F_{dt}$ がスカラーとなるが、未来の各ステップでの $T_{gd}$ を検出もしくは推定可能な場合には、それらの $T_{gd}$ を使用して制御入力 $DUT$ を求めるようにすることもできる。この場合には、 $F_{dt}$ は式(19-3)の{ }内の要素( $Md+1$ 個の要素)からなるベクトルとなる。

【0140】

【数19】

$$F_0 \equiv (F_{s0}, F_{e0}, F_{x0}) \\ = -[H_0 + G^T \cdot P \cdot G]^{-1} \cdot G^T \cdot P \cdot \Phi \dots\dots(19-1)$$

$$Fr_0(i) \equiv (Fr_{01}(i), Fr_{02}(i)) \quad (\text{但し、} i=1, 2, \dots, Mr) \\ = -[H_0 + G^T \cdot P \cdot G]^{-1} \cdot G^T \cdot (\xi^T)^{i-1} \cdot P \cdot G_r \dots\dots(19-2)$$

$$F_{dt} = \sum_{i=0}^{Md} \{ -[H_0 + G^T \cdot P \cdot G]^{-1} \cdot G^T \cdot (\xi^T)^i \cdot P \cdot G_d \} \dots\dots(19-3)$$

【0141】

これらの式(19-1)～(19-3)中の $P$ は次式(20-1)のリカッチ

の方程式を満たす行列（この場合 3 行 3 列の行列）であり、 $\xi$  は次式（20-2）により与えられる行列（この場合 3 行 3 列の行列）である。

【0142】

【数20】

$$P = Q_0 + \Phi^T \cdot P \cdot \Phi - \Phi \cdot P \cdot G \cdot [H_0 + G^T \cdot P \cdot G]^{-1} \cdot G^T \cdot P \cdot \Phi \dots\dots (20-1)$$

$$\xi = \Phi + G \cdot F_0 \dots\dots (20-2)$$

【0143】

尚、式（19-1）～（19-3）並びに式（20-1）、（20-2）中の  $G$ 、 $G_r$ 、 $G_d$ 、 $\Phi$  は前記式（16）の但し書きで定義されたものである。また、 $H_0$ 、 $Q_0$  は前記式（17）の評価関数  $J_0$  の重み行列（但し、この場合  $H_0$  はスカラー）である。

【0144】

ここで、前記式（18）の右辺第 2 項（ $\Sigma$  の項）を  $Fr_0$ 、 $R_0$  の成分（前記式（19-2）並びに式（16）の但し書きを参照）を用いて書き直し、それをさらに整理すると、次式（21）が得られる。

【0145】

【数21】

$$\sum_{i=1}^{Mr} [Fr_0(i) \cdot R_0(n+i)] = \sum_{i=0}^{Mr} [Fr(i) \cdot \Delta R(n+i)] \dots\dots (21)$$

但し、

$$Fr(i) = \begin{cases} Fr_{02}(1) & : i=0 \\ Fr_{01}(i) + Fr_{02}(i+1) & : i=1, 2, \dots, Mr-1 \\ Fr_{01}(Mr) & : i=Mr \end{cases}$$

【0146】

この式（21）を式（18）に代入すると共に、式（18）の右辺第 1 項を  $F_0$ 、 $X_0$  の成分（前記式（19-1）並びに式（16）の但し書きを参照）を用いて書き直すことにより、前記式（18）は、次式（22）により表される。



【 0 1 4 7 】

【数 2 2】

$$\Delta DUT(n) = Fs0 \cdot e(n) + Fe0 \cdot \Delta e(n) + Fx0 \cdot \Delta Tht(n) \\ + \sum_{i=0}^{Mr} [Fr(i) \cdot \Delta R(n+i)] + Fdt \cdot \Delta Tgd(n) \dots\dots (22)$$

【 0 1 4 8 】

このとき、ヒータコントローラ 2 2 が生成すべき制御入力 DUT(n) は、その初期値 DUT(0) に  $\Delta DUT(1)$ 、 $\Delta DUT(2)$ 、 $\dots\dots$ 、 $\Delta DUT(n)$  を累積加算したものであるから、上記式 (22) により、次式 (23) が得られる。

【 0 1 4 9 】

【数 2 3】

$$DUT(n) = Fs0 \cdot \sum_{j=1}^n e(j) + Fe0 \cdot e(n) + Fx0 \cdot Tht(n) \\ + \sum_{i=0}^{Mr} [Fr(i) \cdot R(n+i)] + Fdt \cdot Tgd(n) \\ - Fe0 \cdot e(0) - Fx0 \cdot Tht(0) \\ - \sum_{i=0}^{Mr} [Fr(i) \cdot R(0+i)] - Fdt \cdot Tgd(0) + DUT(0) \\ \dots\dots (23)$$

【 0 1 5 0 】

そして、この式 (23) の初期値項、すなわち、式 (23) の第 6 項 ( $Fe0 \cdot e(0)$  の項) ～第 10 項 ( $DUT(0)$  の項) を全て「0」とすることで、ヒータコントローラ 2 2 に実際に生成させる制御入力 DUT(n) を算出するための式が次式 (24) の通り得られる。

【 0 1 5 1 】

【数 2 4】

$$DUT(n) = Fs0 \cdot \sum_{j=1}^n e(j) + Fe0 \cdot e(n) + Fx0 \cdot Tht(n) \\ + \sum_{i=0}^{Mr} [Fr(i) \cdot R(n+i)] + Fdt \cdot Tgd(n) \dots\dots (24)$$

【 0 1 5 2 】

この式(24)が、ヒータコントローラ22によりヒータ13を制御するための制御入力 $DUT(n)$ (デューティ)を逐次算出するための演算式である。すなわち、ヒータコントローラ22は、この制御入力 $DUT(n)$ を該ヒータコントローラ22の制御処理のサイクルタイム(周期)毎に式(24)により逐次算出し、そのデューティ $DUT(n)$ のパルス電圧を図示しないヒータ通電回路に付与することにより、ヒータ13への供給電力を調整する。この式(24)の第1から第3項まで( $\sum e(j)$ を含む項 $\sim Tht(n)$ を含む項まで)は、素子温偏差 $e$ やヒータ温度 $Tht$ に応じた制御入力成分(フィードバック成分。以下、この成分を最適F/B成分 $U_{opfb}$ と称する)である。また、式(24)の右辺第4項( $\sum Fr(i) \cdot R(n+i)$ の項)は目標値 $R$ に応じた制御入力成分(フィードフォワード成分。以下、この成分を最適目標値F/F成分 $U_{opfrr}$ と称する)であり、第5項( $Tgd(n)$ を含む項)は排ガス温度 $Tgd$ (これは制御対象に対して外乱として機能する)に応じた制御入力成分(フィードフォワード成分。以下、この成分を最適外乱F/F成分 $U_{opfdr}$ と称する)である。このように式(24)により制御入力としての $DUT$ を求めるヒータコントローラ22は、それをブロック線図で表現すると、図7に示すようになる。

#### 【0153】

ここで、この式(24)により制御入力 $DUT(n)$ を求めるために必要な $Fs0$ 、 $Fe0$ 、 $Fx0$ は、前記式(19-1)に従ってあらかじめ算出された値が用いられる。また、 $Fr(i)$ ( $i=0, 1, \dots, Mr$ )は、前記式(21)及び式(19-2)に従ってあらかじめ算出された値が用いられる。また、 $Fdt$ は前記式(19-3)に従ってあらかじめ算出された値が用いられる。尚、これらの係数 $Fs0$ 、 $Fe0$ 、 $Fx0$ 、 $Fr(i)$ 、 $Fdt$ の値は必ずしも定義式通りの値を用いる必要はなく、シミュレーションや実験を通じて適宜調整するようにしてもよい。さらには、素子温度やヒータ温度等に応じて変更するようにしてもよい。

#### 【0154】

また、式(24)の演算に必要なヒータ温度 $Tht$ 及び排ガス温度 $Tgd$ は、それぞれ、前記素子温オブザーバ20により求められたヒータ温度 $Tht$ の推定値の最新値、前記排気温オブザーバ21により求められた排ガス温度 $Tgd$ の推定値の最

新値が用いられる。

【0155】

さらに、式(24)の演算に必要な素子温偏差 $e$ は、前記素子温オブザーバ20により求められた素子温度 $T_{02}$ の推定値の最新値と、前記目標値設定手段21により前記目標値予見時間 $M_r$ 前のサイクルタイムで設定された目標値 $R$ とから算出される。

【0156】

ここで、前記目標値設定手段21は、基本的には、 $O_2$ センサ8の出力特性が安定に良好なものとなる $750^{\circ}\text{C}$ 以上の温度（本実施形態では例えば $800^{\circ}\text{C}$ ）を、ヒータコントローラ22の処理のサイクルタイム（周期）と同じサイクルタイムで素子部10の温度の目標値 $R$ として設定するようにしている。この場合、該目標値設定手段21は、ヒータコントローラ22による処理を前述の最適予見制御のアルゴリズムにより行うために、各サイクルタイムで設定する目標値 $R$ を、現在のサイクルタイムから前記目標値予見時間 $M_r$ 後の目標値 $R(n+M_r)$ として設定し、それを該目標値予見時間 $M_r$ の時間分、時系列的に記憶保持するようにしている。つまり、 $M_r+1$ 個の目標値 $R(n)$ ,  $R(n+1)$ , ...,  $R(n+M_r)$ が逐次更新されつつ記憶保持される。そして、式(24)の演算に必要な素子温偏差 $e$ を求めるために使用する目標値 $R$ は、目標値予見時間 $M_r$ 前のサイクルタイムで目標値設定手段21が上記のように設定して記憶保持した値 $R(n)$ である。また、上記のように記憶保持された目標値 $R(n)$ ,  $R(n+1)$ , ...,  $R(n+M_r)$ が、前記式(24)の第4項( $R(n+i)$ を含む $\Sigma$ の項)の値を求めるために使用される。

【0157】

尚、エンジン1の運転開始時から、素子温度 $T_{02}$ の目標値 $R$ を $800^{\circ}\text{C}$ のような高温に設定すると、エンジン1の運転開始時に $O_2$ センサ8の素子部10に水分等が付着していたような場合には、該素子部10が急激な加熱に伴う応力で損傷する虞れがある。このため、本実施形態では、目標値設定手段21は、エンジン1の運転開始後、所定時間（例えば15秒）が経過するまでは、素子温度 $T_{02}$ の目標値 $R$ を $750^{\circ}\text{C}$ よりも低い温度、例えば $600^{\circ}\text{C}$ に設定するようにしている。

## 【0158】

次に、本実施形態の装置、特に前記センサ温度制御手段12の全体的な処理を説明する。

## 【0159】

エンジン1が始動され、その運転が開始すると、センサ温度制御手段12は、図8のフローチャートに示すメインルーチン処理を所定のサイクルタイムで実行する。尚、このメインルーチンの実行周期は、前記排気温オブザーバ19、素子温オブザーバ20の処理の周期 $dt$ よりも短く、従って、目標値設定手段21及びヒータコントローラ22の処理の周期 $dte$ よりも短い。

## 【0160】

センサ温度制御手段12は、まず、エンジン1の回転数 $NE$ 、吸気圧 $PB$ 及び大気温度 $T_A$ の検出値を取得し（STEP1）、さらに前記目標値設定手段21及びヒータコントローラ22の処理の1周期分の時間 $dte$ をカウントするためのカウントダウンタイマCOPCの値を判断する（STEP2）。このカウントダウンタイマCOPCの値は、エンジン1の始動時に「0」に初期化されている。

## 【0161】

そして、センサ温度制御手段12は、COPC=0である場合には、目標値設定手段21及びヒータコントローラ22の制御処理の周期 $dte$ に相当するタイマ設定時間 $TM1$ をCOPCの値として新たに設定した後（STEP3）、 $O_2$ センサ8の素子温度 $T_{O2}$ の目標値 $R$ を設定する処理と、ヒータ13のデューティ $DUT$ を算出処理とを、それぞれ前記目標値設定手段21及びヒータコントローラ22により順次実行する（STEP4, 5）。また、STEP2でCOPC $\neq$ 0である場合には、センサ温度制御手段12は、STEP5でCOPCの値をカウントダウンし、STEP4, 5の処理を省略する。従って、STEP4, 5の処理は、上記タイマ設定時間 $TM1$ により規定される周期 $dte$ で実行されることとなる。

## 【0162】

上記STEP4, 5の処理は、より具体的には次のように行われる。まず、目標値設定手段21によるSTEP4の処理は、図9のフローチャートに示すように実行される。

## 【0163】

目標値設定手段21によるSTEP4の処理では、まず、エンジン1の始動後の経過時間を表すパラメータTSHの値があらかじめ定めた所定値XTMと比較される(STEP4-1)。このとき、 $TSH \leq XTM$ である場合、すなわち、エンジン1の運転開始直後の状態である場合には、目標値設定手段21は、前述のように $O_2$ センサ8の素子部10の損傷を防止するために、素子温度 $T_{O2}$ の目標値Rを低温側の温度(例えば600℃)に設定する(STEP4-2)。尚、ここで設定する目標値Rはより詳しくは、現在から目標値予見時間Mr後の目標値 $R(n+Mr)$ である。

## 【0164】

また、STEP4-1で $TSH > XTM$ である場合には、目標値設定手段21は、大気温度 $T_A$ の現在の検出値(図8のSTEP1で取得されたもの)から、あらかじめ定められたデータテーブルに基づいて素子温度 $T_{O2}$ の目標値Rを設定する(STEP4-3)。ここで設定される目標値Rは、大気温度 $T_A$ が常温程度(例えば $T_A \geq 0^\circ\text{C}$ )である場合には、基本的には750℃以上の所定値(本実施形態では800℃)である。但し、寒冷地でのエンジン1の運転時等、大気温度 $T_A$ が低いとき(例えば $T_A < 0^\circ\text{C}$ )には、素子温度 $T_{O2}$ の目標値Rが800℃のような高温であると、ヒータ13の温度が過剰に高温になりやすい。そして、本実施形態では、後述するヒータ13の過熱防止処理によって、ヒータ13の温度が過剰に高温になると、該ヒータ13の故障を避けるために該ヒータ13への通電は強制的に中止される。そこで、本実施形態では、STEP4-3では、大気温度 $T_A$ が低い場合(例えば $T_A < 0^\circ\text{C}$ )には、素子温度 $T_{O2}$ の目標値Rを通常の場合よりも多少低い値(例えば $750^\circ\text{C} \leq R < 800^\circ\text{C}$ となる値)に設定するようにしている。

## 【0165】

尚、このSTEP4-3で設定される目標値Rは、STEP4-2で設定される目標値Rと同様、より詳しくは、現在から目標値予見時間Mr後の目標値 $R(n+Mr)$ である。

## 【0166】

上記のようにSTEP 4-2又は4-3で目標値 $R (= R(n+Mr))$ を新たに設定した後、目標値設定手段21は、該目標値 $R$ を目標値予見時間 $Mr$ の期間分、記憶保持するための $Mr+1$ 個のバッファ $RBF(0)$ ,  $RBF(1)$ ,  $\dots$ ,  $RBF(Mr)$ の値をSTEP 4-4、4-5で更新する。これにより、STEP 4の処理が終了する。

#### 【0167】

この場合、STEP 4-4では、 $Mr$ 個のバッファ $RBF(j)$  ( $j = 0, 1, \dots, Mr-1$ ) に対して順番に、 $RBF(j)$ の値を $RBF(j+1)$ の現在値に更新する処理が実行される。尚、バッファ $RBF(0)$ に今まで保持されていた値は消去される。また、STEP 4-5では、前記STEP 4-2又は4-3で新たに設定された目標値 $R$ に、バッファ $RBF(Mr)$ の値が更新される。このように更新されるバッファ $RBF(0)$ ,  $RBF(1)$ ,  $\dots$ ,  $RBF(Mr)$ の値は、それぞれ、前記式(24)の第4項の $R(n)$ ,  $R(n+1)$ ,  $\dots$ ,  $R(n+Mr)$ に相当するものとなる。尚、バッファ $RBF(0)$ ,  $RBF(1)$ ,  $\dots$ ,  $RBF(Mr)$ の値は、エンジン1の始動時に所定の値(例えばSTEP 4-2で設定する目標値)に初期化されている。

#### 【0168】

次に、ヒータコントローラ22による前記STEP 5の処理は、図10のフローチャートに示すように実行される。このSTEP 5の処理では、まず、前記素子温度 $T_{O2}$ の推定値の現在値 $T_{O2}(n)$ と、前記バッファ $RBF(0) (= R(n))$ 、すなわち、目標値予見時間 $Mr$ 前に目標値設定手段21により設定された目標値 $R$ とからそれらの間の素子温偏差 $e(n) = T_{O2}(n) - RBF(0)$ を算出する(STEP 5-1)。

#### 【0169】

次いで、ヒータコントローラ22は、フラグ $F/A$ ,  $F/B$ の値を判断する(STEP 5-2)。ここで、フラグ $F/A$ はデューティ $DUT$ の後述するリミット処理において値が“0”、“1”に設定されるフラグであり、 $F/A = 1$ は、デューティ $DUT$ があらかじめ定めた所定の上限値あるいは下限値に強制的に制限されている状態を意味し、 $F/A = 0$ はこのようなデューティ $DUT$ の値の制限がなされていない状態(上限値 $> DUT >$ 下限値)を意味する。また、フラグ $F/B$ は、後述するヒ-

タ 1 3 の過熱防止処理によりヒータ 1 3 への通電が強制的に遮断されている状態で“1”に設定されるフラグである。尚、フラグ F/A, F/B の値の初期値は、“0”である。

#### 【0 1 7 0】

STEP 5-2 の判断で、 $F/A = F/B = 0$  である場合には、ヒータコントローラ 2 2 は、前記式 (2 4) の第 1 項の  $\Sigma e(j)$  の現在値に STEP 5-1 で新たに算出した偏差  $e(n)$  を加算する (STEP 5-3)。これにより、偏差  $e(n)$  がヒータコントローラ 2 2 の処理のサイクルタイム  $dtc$  毎に累積加算 (積分) したものが求められる。尚、 $\Sigma e(j)$  の初期値は“0”である。

#### 【0 1 7 1】

また、STEP 5-2 の判断で、 $F/A = 1$  又は  $F/B = 1$  である場合には、デューティ DUT の現在値が通常的な正常値でないので、ヒータコントローラ 2 2 は、STEP 5-4 の処理を省略して次の STEP 5-4 に進み、 $\Sigma e(j)$  の値を現在値に保持する。

#### 【0 1 7 2】

次いで、ヒータコントローラ 2 2 は、STEP 5-1 で求めた素子温偏差  $e(n)$  の現在値 (最新値) やその累積加算値  $\Sigma e(j)$  の現在値等を用いて、前記式 (2 4) の演算を行って、ヒータ 1 3 に対する制御入力である DUT の今回値  $DUT(n)$  を算出する (STEP 5-4)。すなわち、STEP 5-1 で求めた偏差  $e(n)$  の現在値と、その累積加算値  $\Sigma e(j)$  の現在値と、ヒータ温度  $T_{ht}$  の推定値の現在値  $T_{ht}(n)$  と、前記バッファ  $RBF(0)$ ,  $RBF(1)$ , …… ,  $RBF(Mr)$  の現在値 ( $= R(n)$ ,  $R(n+1)$ , …… ,  $R(n+Mr)$ ) と、排ガス温度  $T_{gd}$  ( $O_2$  センサ 8 の配置箇所での排ガス温度) の推定値の現在値  $T_{gd}(n)$  と、あらかじめ定められた係数  $F_{s0}$ ,  $F_{e0}$ ,  $F_{x0}$ ,  $F_{r(i)}$  ( $i = 0, 1, \dots, Mr$ ),  $F_{dt}$  の値とから、前記式 (2 4) により、デューティ  $DUT(n)$  を算出する。尚、ヒータ温度  $T_{ht}$  の推定値と排ガス温度  $T_{gd}$  の推定値とは、エンジン 1 の運転開始時 (エンジン 1 の始動時) にその時点で検出された大気温度  $T_A$  が初期値として設定されている。そして、前記排気温オブザーバ 1 9 及び素子温オブザーバ 2 0 の処理が未だ実行されていない段階では、それらの初期値が式 (2 4) の演算に用いられる。そして、両オブザ

ーバ19, 20の処理が実行された後には、それらのオブザーバ19, 20がそれぞれの処理で求めた推定値の最新値が式(24)の演算に用いられる。

#### 【0173】

次いで、ヒータコントローラ22は、STEP5-4で算出したデューティDUT(n)のリミット処理をSTEP5-5~5-11で実行する。すなわち、デューティDUT(n)が所定の下限值(例えば“0”)よりも小さいか否かを判断し(STEP5-5)、 $DUT(n) < \text{下限値}$ である場合には、DUT(n)の値を強制的にその“下限値”に設定し直す(STEP5-6)。そして、このとき、前記フラグF/A(STEP5-2で使用するフラグ)の値を“1”に設定する(STEP5-7)。

#### 【0174】

また、 $DUT(n) \geq \text{下限値}$ である場合には、さらに、デューティDUT(n)が所定の上限値(例えば100%)よりも大きいかな否かを判断する(STEP5-8)。このとき $DUT(n) > \text{上限値}$ である場合には、DUT(n)の値を強制的にその“上限値”に設定し直す(STEP5-9)。また、このとき、前記フラグF/Aの値を“1”に設定する(STEP5-10)。尚、 $\text{下限値} \leq DUT(n) \leq \text{上限値}$ である場合には、DUT(n)の値は維持され、前記フラグF/Aの値は“0”に設定される(STEP5-11)。以上によりヒータコントローラ22によるSTEP5の処理は終了する。

#### 【0175】

図8のメインルーチンの処理に戻って、センサ温度制御手段12は、次に、STEP7~13に示す処理を実行する。この処理は、ヒータ13の過熱防止のための処理であり、まず、STEP7において、ヒータ温度Th<sub>t</sub>の推定値の現在値(最新値)があらかじめ定められた所定の上限値TH<sub>TLMT</sub>(例えば930℃)以上であるか否かが判断される。この場合、本実施形態では、基本的には、 $Th_t \geq TH_{TLMT}$ となった場合に、ヒータ13の損傷等を防止するために、該ヒータ13への通電を強制的に遮断する。但し、外乱等の影響で、Th<sub>t</sub>の推定値の値が一時的に上記上限値TH<sub>TLMT</sub>以上に上昇することもある。そこで、本実施形態では、 $Th_t \geq TH_{TLMT}$ となる状態が所定時間(例えば3秒。以下、ヒータOFF遅延時間と



いう)以上、継続した場合に、ヒータ13の通電を遮断することとする。

#### 【0176】

このため、前記STEP7で、 $T_{ht} < T_{HTLMT}$ である場合には、センサ温度制御手段12は、上記ヒータOFF遅延時間を計時するためのカウントダウンタイマTMHTOFFの値を上記ヒータOFF遅延時間に相当する所定値TM2に設定しておく(STEP8)。そして、この場合には、ヒータ13の通電は遮断しないので、センサ温度制御手段12は、前述したフラグF/B(図10のSTEP5-2で使用するフラグ)の値を“0”に設定する(STEP9)。

#### 【0177】

一方、STEP7で $T_{ht} \geq T_{HTLMT}$ である場合には、センサ温度制御手段12は、カウントダウンタイマTMHTOFFの値を“1”だけカウントダウンした後(STEP10)、さらに、このカウントダウンタイマTMHTOFFの値が“0”になったか否か、すなわち、 $T_{ht} \geq T_{HTLMT}$ の状態のまま、前記ヒータOFF遅延時間TM2が経過したか否かを判断する(STEP11)。

#### 【0178】

このときTMHTOFF $\neq$ 0である場合には、前記STEP9でフラグF/Bの値を“0”に設定する。また、TMHTOFF=0である場合には、デューティDUTのの現在値を強制的に“0”に設定し直し(STEP12)、さらに、フラグF/Bの値を“1”に設定する(STEP13)。

#### 【0179】

尚、STEP9でフラグF/Bの値が“0”に設定された場合には、センサ温度制御手段12は、デューティDUTの現在値(前記STEP5の処理で算出された最新値)に従ってパルス電圧を図示しないヒータ通電回路に付与し、該デューティDUTに応じた電力で該ヒータ13に通電させる。また、STEP12でフラグF/Bの値が“1”に設定された場合には、センサ温度制御手段12は、ヒータ12の通電回路にパルス電圧を付与せず、これにより、該ヒータ13への通電を遮断する。

#### 【0180】

上述のようにしてSTEP7～STEP13に係わる処理(ヒータ13の過熱

防止処理)を実行した後、センサ温度制御手段12は、次に、前記排気温オブザーバ19及び素子温オブザーバ20の処理の1周期分の時間 $dt$ をカウントするためのカウントダウンタイマCOBSの値を判断する(STEP14)。このカウントダウンタイマCOBSの値は、エンジン1の始動時に「0」に初期化されている。

#### 【0181】

そして、センサ温度制御手段12は、COBS=0である場合には、排気温オブザーバ19及び素子温オブザーバ20の処理の周期 $dt$ に相当するタイマ設定時間TM3(これはSTEP3のTM1よりも短い)をCOBSの値として新たに設定した後(STEP15)、排ガス温度 $T_{gd}$ ( $O_2$ センサ8の配置箇所近傍の排ガス温度)を推定する処理と、素子温度 $T_{O_2}$ を推定する処理(ヒータ温度 $T_{ht}$ の推定処理を含む)とをそれぞれ、排気温オブザーバ19及び素子温オブザーバ20により実行する(STEP16)。また、STEP14でCOBS $\neq$ 0である場合には、STEP15、16の処理は省略される。従って、STEP16の処理は、上記タイマ設定時間TM3により規定される周期 $dt$ で実行されることとなる。以上説明した処理が図8のメインルーチンの処理である。

#### 【0182】

上記STEP16の処理は、より具体的には、図11のフローチャートに示すように行われる。すなわち、センサ温度制御手段12は、まず、排気温オブザーバ19により、STEP16-1~STEP16-6の処理を順次実行し、 $O_2$ センサ8の配置箇所近傍での排ガス温度 $T_{gd}$ の推定値を求める。STEP16-1では、エンジン1の回転数NE及び吸気圧PBの現在の検出値(前記STEP1で取得された最新値)を用いて前記式(7)により流速パラメータ $V_g$ が求められる。尚、この流速パラメータ $V_g$ の値は、エンジン1の過回転等により前記式(7)の算出結果が“1”を越えたような場合には、強制的に $V_g=1$ に設定される。

#### 【0183】

次いで、排気温オブザーバ19は、前記式(1)に基づいてエンジン1の排気ポート2での排ガス温度 $T_{exg}$ の推定値を算出する(STEP16-2)。すなわち、エンジン1の回転数NE及び吸気圧PBの現在の検出値から所定のマップによ

り基本排ガス温度 $T_{MAP}(NE, PB)$ を求め、さらに、この $T_{MAP}(NE, PB)$ と、排ガス温度 $T_{exg}$ の推定値の現在値 $T_{exg}(k-1)$ （前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-2で求められた値）と、あらかじめ定められた係数 $K_{tex}$ の値とを用いて前記式（1）の右辺の演算を行う。これにより、排ガス温度 $T_{exg}$ の新たな推定値 $T_{exg}(k)$ が算出される。尚、本実施形態では、エンジン1のアイドリング運転時と、フュエルカット中においては、式（1）の演算に用いる基本排ガス温度 $T_{MAP}$ を、それぞれの運転状態に対応してあらかじめ定めた所定値に設定するようにしている。また、排ガス温度 $T_{exg}$ の推定値は、前述のようにエンジン1の運転開始時（始動時）に、その時に検出された大気温度 $T_A$ が初期値 $T_{exg}(0)$ として設定されており、エンジン1の運転開始後、初めて式（1）の演算を行うときには、その初期値 $T_{exg}(0)$ が $T_{exg}(k-1)$ の値として用いられる。

#### 【0184】

次いで、排気温オブザーバ19は、前記式（5-1）、（5-2）に基づいて前記部分排気通路3aでの排ガス温度 $T_{ga}$ の推定値及び排気管温度 $T_{wa}$ の推定値を算出する（STEP 16-3）。すなわち、排ガス温度 $T_{ga}$ の推定値の現在値 $T_{ga}(k)$ （前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-3で求められた値）と、排気管温度 $T_{wa}$ の推定値の現在値（前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-3で求められた値）と、前記STEP 16-2で先に算出した排ガス温度 $T_{exg}$ の推定値の現在値と、前記STEP 16-1で算出した流速パラメータ $V_g$ の現在値と、あらかじめ定められたモデル係数 $A_a$ の値及び排気温オブザーバ19の処理の周期 $dt$ の値とを用いて前記式（5-1）の右辺の演算を行うことで、排ガス温度 $T_{ga}$ の新たな推定値 $T_{ga}(k+1)$ を求める。

#### 【0185】

さらに、排ガス温度 $T_{ga}$ の推定値の現在値 $T_{ga}(k)$ （前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-3で求められた値）と、排気管温度 $T_{wa}$ の推定値の現在値（前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-3で求められた値）と、あらかじめ定められたモデル係数 $B_a$ 、 $C_a$ の値及び排気温オブザーバ19の処理の周期 $dt$ の値とを用いて前記式（5-2）の右辺の演算を行うことで、排気管温度 $T_{wa}$ の新たな推定値 $T_{wa}(k+1)$ を求める。

## 【0186】

尚、排ガス温度 $T_{ga}$ 及び排気管温度 $T_{wa}$ の推定値は、前述のようにエンジン1の運転開始時（始動時）に、その時に検出された大気温度 $T_A$ がそれぞれの初期値 $T_{ga}(0)$ 、 $T_{wa}(0)$ として設定されており、エンジン1の運転開始後、初めて式（5-1）、（5-2）の演算を行うときには、それらの初期値 $T_{ga}(0)$ 、 $T_{wa}(0)$ がそれぞれ $T_{ga}(k-1)$ 、 $T_{wa}(k-1)$ の値として用いられる。

## 【0187】

次いで、排気温オブザーバ19は、前記式（6-1）、（6-2）に基づいて前記部分排気通路3bでの排ガス温度 $T_{gb}$ の推定値及び排気管温度 $T_{wb}$ の推定値を算出する（STEP16-4）。すなわち、排ガス温度 $T_{gb}$ の推定値の現在値 $T_{gb}(k)$ （前回のサイクルタイムにおけるSTEP16-4で求められた値）と、排気管温度 $T_{wb}$ の推定値の現在値（前回のサイクルタイムにおけるSTEP16-4で求められた値）と、前記STEP16-3で先に算出した排ガス温度 $T_{ga}$ の推定値の現在値と、前記STEP16-1で算出した流速パラメータ $V_g$ の現在値と、あらかじめ定められたモデル係数 $A_b$ の値及び排気温オブザーバ19の処理の周期 $dt$ の値とを用いて前記式（6-1）の右辺の演算を行うことで、排ガス温度 $T_{gb}$ の新たな推定値 $T_{gb}(k+1)$ を求める。

## 【0188】

さらに、排ガス温度 $T_{gb}$ の推定値の現在値 $T_{gb}(k)$ （前回のサイクルタイムにおけるSTEP16-4で求められた値）と、排気管温度 $T_{wb}$ の推定値の現在値（前回のサイクルタイムにおけるSTEP16-4で求められた値）と、あらかじめ定められたモデル係数 $B_b$ 、 $C_b$ の値及び排気温オブザーバ19の処理の周期 $dt$ の値とを用いて前記式（6-2）の右辺の演算を行うことで、排気管温度 $T_{wb}$ の新たな推定値 $T_{wb}(k+1)$ を求める。

## 【0189】

尚、排ガス温度 $T_{gb}$ 及び排気管温度 $T_{wb}$ の推定値は、前述のようにエンジン1の運転開始時（始動時）に、その時に検出された大気温度 $T_A$ がそれぞれの初期値 $T_{gb}(0)$ 、 $T_{wb}(0)$ として設定されており、エンジン1の運転開始後、初めて式（6-1）、（6-2）の演算を行うときには、それらの初期値 $T_{gb}(0)$ 、 $T_{wb}(0)$

0)がそれぞれ $T_{gb}(k-1)$ 、 $T_{wb}(k-1)$ の値として用いられる。

#### 【0190】

次いで、排気温オブザーバ19は、前記式(8-1)、(8-2)に基づいて前記部分排気通路3cでの排ガス温度 $T_{gc}$ の推定値及び触媒温度 $T_{wc}$ の推定値を算出する(STEP16-5)。すなわち、排ガス温度 $T_{gc}$ の推定値の現在値 $T_{gc}(k)$ (前回のサイクルタイムにおけるSTEP16-5で求められた値)と、触媒温度 $T_{wc}$ の推定値の現在値(前回のサイクルタイムにおけるSTEP16-5で求められた値)と、前記STEP16-4で先に算出した排ガス温度 $T_{gb}$ の推定値の現在値と、前記STEP16-1で算出した流速パラメータ $V_g$ の現在値と、あらかじめ定められたモデル係数 $A_c$ の値及び排気温オブザーバ19の処理の周期 $dt$ の値とを用いて前記式(8-1)の右辺の演算を行うことで、排ガス温度 $T_{gc}$ の新たな推定値 $T_{gc}(k+1)$ を求める。

#### 【0191】

さらに、排ガス温度 $T_{gc}$ の推定値の現在値 $T_{gc}(k)$ (前回のサイクルタイムにおけるSTEP16-5で求められた値)と、触媒温度 $T_{wc}$ の推定値の現在値(前回のサイクルタイムにおけるSTEP16-5で求められた値)と、前記STEP16-1で算出した流速パラメータ $V_g$ の現在値と、あらかじめ定められたモデル係数 $B_c$ 、 $C_c$ 、 $D_c$ の値及び排気温オブザーバ19の処理の周期 $dt$ の値とを用いて前記式(8-2)の右辺の演算を行うことで、触媒温度 $T_{wc}$ の新たな推定値 $T_{wc}(k+1)$ を求める。

#### 【0192】

尚、排ガス温度 $T_{gc}$ 及び触媒温度 $T_{wc}$ の推定値は、前述のようにエンジン1の運転開始時(始動時)に、その時に検出された大気温度 $T_A$ がそれぞれの初期値 $T_{gc}(0)$ 、 $T_{wc}(0)$ として設定されており、エンジン1の運転開始後、初めて式(8-1)、(8-2)の演算を行うときには、それらの初期値 $T_{gc}(0)$ 、 $T_{wc}(0)$ がそれぞれ $T_{gc}(k-1)$ 、 $T_{wc}(k-1)$ の値として用いられる。

#### 【0193】

次いで、排気温オブザーバ19は、前記式(9-1)、(9-2)に基づいて前記部分排気通路3dでの( $O_2$ センサ8の配置箇所近傍での)排ガス温度 $T_{gd}$

の推定値及び排気管温度 $T_{wd}$ の推定値を算出する（STEP 16-6）。すなわち、排ガス温度 $T_{gd}$ の推定値の現在値 $T_{gd}(k)$ （前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-6で求められた値）と、排気管温度 $T_{wd}$ の推定値の現在値（前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-6で求められた値）と、前記STEP 16-5で先に算出した排ガス温度 $T_{gc}$ の推定値の現在値と、前記STEP 16-1で算出した流速パラメータ $V_g$ の現在値と、あらかじめ定められたモデル係数 $A_d$ の値及び排気温オブザーバ19の処理の周期 $dt$ の値とを用いて前記式（9-1）の右辺の演算を行うことで、排ガス温度 $T_{gd}$ の新たな推定値 $T_{gd}(k+1)$ を求める。

## 【0194】

さらに、排ガス温度 $T_{gd}$ の推定値の現在値 $T_{gd}(k)$ （前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-6で求められた値）と、排気管温度 $T_{wd}$ の推定値の現在値（前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-6で求められた値）と、あらかじめ定められたモデル係数 $B_d$ 、 $C_d$ の値及び排気温オブザーバ19の処理の周期 $dt$ の値とを用いて前記式（9-2）の右辺の演算を行うことで、排気管温度 $T_{wd}$ の新たな推定値 $T_{wd}(k+1)$ を求める。

## 【0195】

尚、排ガス温度 $T_{gd}$ 及び排気管温度 $T_{wd}$ の推定値は、前述のようにエンジン1の運転開始時（始動時）に、その時に検出された大気温度 $T_A$ がそれぞれの初期値 $T_{gd}(0)$ 、 $T_{wd}(0)$ として設定されており、エンジン1の運転開始後、初めて式（9-1）、（9-2）の演算を行うときには、それらの初期値 $T_{gd}(0)$ 、 $T_{wd}(0)$ がそれぞれ $T_{gd}(k-1)$ 、 $T_{wd}(k-1)$ の値として用いられる。

## 【0196】

次に、センサ温度制御手段12は、素子温オブザーバ20により、STEP 16-7の処理を実行し、 $O_2$ センサ8の素子温度 $T_{O_2}$ 及びヒータ温度 $T_{ht}$ の推定値を前記式（10-1）、（10-2）に基づいて求める。すなわち、素子温度 $T_{O_2}$ の推定値の現在値 $T_{O_2}(k)$ （前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-7で求められた値）と、ヒータ温度 $T_{ht}$ の推定値の現在値 $T_{ht}(k)$ （前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-7で求められた値）と、前記STEP 6-6

で先に算出された排ガス温度 $T_{gd}$ の推定値の現在値と、あらかじめ定められたモデル係数 $A_x$ ,  $B_x$ の値及び素子温オブザーバ20の処理の周期 $dt$  (=排気温オブザーバ19の処理の周期)の値とを用いて前記式(10-1)の右辺の演算を行うことで、素子温度 $T_{02}$ の新たな推定値 $T_{02}(k+1)$ を求める。

【0197】

さらに、素子温度 $T_{02}$ の推定値の現在値 $T_{02}(k)$ (前回のサイクルタイムにおけるSTEP16-7で求められた値)と、ヒータ温度 $T_{ht}$ の推定値の現在値 $T_{ht}(k)$ (前回のサイクルタイムにおけるSTEP16-7で求められた値)と、デューティDUTの現在値 $DUT(k)$ と、あらかじめ定められたモデル係数 $C_x$ ,  $D_x$ の値及び素子温オブザーバ20の処理の周期 $dt$ の値とを用いて前記式(10-2)の右辺の演算を行うことで、ヒータ温度 $T_{ht}$ の新たな推定値 $T_{ht}(k+1)$ を求める。

【0198】

尚、素子温度 $T_{02}$ 及びヒータ温度 $T_{ht}$ の推定値は、前述のようにエンジン1の運転開始時(始動時)に、その時に検出された大気温度 $T_A$ がそれぞれの初期値 $T_{02}(0)$ ,  $T_{ht}(0)$ として設定されており、エンジン1の運転開始後、初めて式(10-1), (10-2)の演算を行うときには、それらの初期値 $T_{02}(0)$ ,  $T_{ht}(0)$ がそれぞれ $T_{02}(k-1)$ ,  $T_{ht}(k-1)$ の値として用いられる。また、式(10-2)で用いるデューティ $DUT(k)$ は、基本的には前述のSTEP5でヒータコントローラ22が求めた最新値である。但し、前記STEP12でデューティ $DUT$ の値が“0”に制限された場合(ヒータ13への通電を遮断する場合)には、その値が式(10-2)で用いられる。

【0199】

以上説明したセンサ温度制御手段12の処理によって、 $O_2$ センサ8の素子温度 $T_{02}$ が目標値 $R$ に維持されるように $O_2$ センサ8のヒータ13への供給電力が制御される。この場合、エンジン1の運転開始直後や、大気温度 $T_A$ がかなり低い場合を除いて、通常的には目標値 $R$ が800℃に設定される。この結果、 $O_2$ センサ8の出力特性をエンジン1の空燃比制御(触媒装置4による良好な浄化性能を確保するための空燃比制御)に適した特性に安定に維持することができ、ひ

いては、その空燃比制御を良好に行って、触媒装置4の良好な浄化性能を確実に維持することができる。

#### 【0200】

また、本実施形態では、 $O_2$ センサ8の素子温度 $T_{02}$ と、ヒータ温度 $T_{ht}$ とが素子温オブザーバ20により推定される。そして、このとき、素子温度 $T_{02}$ は、素子部10とヒータ13との間の熱伝達に応じた温度変化と、素子部10と $O_2$ センサ8の配置箇所近傍での排ガス（素子部10に接触する排ガス）との間の熱伝達に応じた温度変化とを考慮して構築された前記式（10-1）のモデル式に基づいて逐次推定される。併せて、ヒータ温度 $T_{ht}$ は、素子部10とヒータ13との間の熱伝達に応じた温度変化と、ヒータ13への電力供給に伴う温度変化、すなわち、その電力供給量を規定するデューティDUTに応じた温度変化とを考慮して構築された前記式（10-2）のモデル式に基づいて逐次推定される。

#### 【0201】

この結果、素子部10やヒータ13に対する熱の授受を適正に考慮した方法で素子温度 $T_{02}$ 及びヒータ温度 $T_{ht}$ を推定することができ、それらの推定値の精度を十分に確保することができる。

#### 【0202】

そして、ヒータ13に対する制御入力としてのデューティDUTは、素子温度 $T_{02}$ の推定値に応じた制御入力成分（前記式（24）の第1項（ $\sum e(j)$ を含む項）及び第2項（ $e(n)$ を含む項））と、ヒータ温度 $T_{ht}$ の推定値に応じた制御入力成分（前記式（24）の第3項）とを含むように算出される。このため、素子温度 $T_{02}$ 及びヒータ温度 $T_{ht}$ の推定値の精度を十分に確保できることと相まって、素子温度 $T_{02}$ を確実に所望の目標値Rに安定して制御することができる。

#### 【0203】

また、本実施形態では、デューティDUTは、素子温度 $T_{02}$ とヒータ温度 $T_{ht}$ とに応じた制御入力成分に加えて、素子温度 $T_{02}$ の変動の外乱的な要因となる排ガス温度 $T_{gd}$ の推定値に応じた制御入力成分、すなわち、前記最適外乱F/F成分 $U_{opf d}$ を含むものとして算出される。また、この最適外乱F/F成分 $U_{opf d}$ に係る係数 $F_{dt}$ は、現在の排ガス温度が前記排ガス温度予見時間Md後まで継続するとし



て、予見制御のアルゴリズムにより決定される。この結果、素子温度 $T_{O_2}$ の目標値 $R$ への制御の安定性を効果的に高め、ひいては、 $O_2$ センサ 8 の出力特性の安定性を効果的に高めることができる。

#### 【0204】

さらには、本実施形態では、素子温度 $T_{O_2}$ の目標値 $R$ （現在から前記目標値予見時間 $Mr$ 後までの目標値 $R$ ）に応じた制御入力成分、すなわち、前記最適目標値 $F/F$ 成分 $U_{opfr}$ 成分をも含めて制御入力 $DUT$ が算出される。このため、特に、目標値 $R$ がエンジン 1 の運転開始直後の低温側温度（ $600^{\circ}\text{C}$ ）から通常の高温側温度（ $750^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$ ）に切替ったときに、制御入力 $DUT$ が一時的に過剰に大きくなる（目標値 $R$ に対してオーバーシュートを生じる）のを防止することができる。これによっても、 $O_2$ センサ 8 の出力特性の安定性を効果的に高めることができる。

#### 【0205】

次に、本発明の第 2 実施形態を図 12 を参照して説明する。尚、本実施形態は、前記第 1 の実施形態と一部の構成もしくは機能のみが相違するものであるので、同一構成部分もしくは同一機能部分については、第 1 実施形態のものと同一の参照符号を用いて詳細な説明を省略する。

#### 【0206】

本実施形態では、図 1 に示したコントロールユニット 16 のセンサ温度制御手段 18 は、その機能的手段として、図 12 のブロック図に示すように排気温オブザーバ 19、素子温オブザーバ 20、目標値設定手段 31、ヒータコントローラ 32 を備えている。ここで、排気温オブザーバ 19、素子温オブザーバ 20 は、前記第 1 実施形態のものと全く同一である。但し、本実施形態では、素子温オブザーバ 20 は、本発明におけるヒータ温度推定手段に相当するものである。尚、本実施形態では、目標値設定手段 31 及びヒータコントローラ 32 の演算処理の周期は、前記第 1 実施形態における目標値設定手段 21 及びヒータコントローラ 22 の演算処理の周期と同一である。

#### 【0207】

目標値設定手段 31 は、 $O_2$ センサ 8 のヒータ温度 $T_{ht}$ の目標値 $R'$ を設定す

るものである。この場合、本願発明者等の知見によれば、ヒータ温度  $T_{ht}$  は、素子温度  $T_{02}$  との相関性が比較的高く、定常状態では素子温度  $T_{02}$  よりも一定温度だけ高いものとなる傾向がある。そこで、本実施形態では、目標値設定手段 31 は、前記第1実施形態で説明したように設定される素子温度  $T_{02}$  の目標値  $R$  (前記図9の処理により設定される目標値  $R$ ) よりも所定値  $DR$  (例えば  $100^{\circ}\text{C}$ ) だけ高い値  $R + DR$  を、ヒータ温度  $T_{ht}$  の目標値  $R'$  として設定するようにしている。尚、目標値設定手段 31 が、その処理のサイクルタイム毎に設定する目標値  $R'$  は、前記第1実施形態の場合と同様、目標値予見時間  $M_r$  後の目標値であり、この目標値予見時間  $M_r$  の期間分の目標値  $R'$  が逐次更新されつつ記憶保持される。

#### 【0208】

ヒータコントローラ 32 は、ヒータ温度  $T_{ht}$  が目標値  $R'$  に維持されるように、制御入力としてデューティ  $DUT$  を逐次決定するものである。この場合、本実施形態では、第1実施形態のものと同様、ヒータコントローラ 32 は、最適予見制御アルゴリズムにより、デューティ  $DUT$  を算出するようにしている。

#### 【0209】

より具体的には、本実施形態では、ヒータ温度  $T_{ht}$  とそれに対する目標値  $R'$  との偏差  $e'$  と、その偏差  $e'$  の所定時間毎の変化量  $\Delta e'$  (これは偏差  $e'$  の変化速度に相当する) と、素子温度  $T_{02}$  の所定時間毎の変化量  $\Delta T_{02}$  (これは素子温度  $T_{02}$  の変化速度に相当する) とに着目し、これらをヒータコントローラ 32 の制御対象に係わる状態量として、該制御対象のモデル式を導入している。

#### 【0210】

このモデル式は、偏差  $e'$  (以下、ヒータ温偏差  $e'$  という) を  $e'(n) = T_{ht}(n) - R'(n)$  と定義したとき、前記第1実施形態の場合と同様の考え方によって、前記式 (11-1)、(11-2) に基づいて、次式 (25) により与えられる。

#### 【0211】

【数 2 5】

$$X1(n+1) = \Phi' \cdot X1(n) + G' \cdot \Delta DUT(n) + Gd' \cdot \Delta Tgd(n) + Gr' \cdot R1(n+1) \quad \dots\dots(25)$$

$$\text{但し、} X1(n) = (e'(n), \Delta e'(n), \Delta To2(n))^T$$

$$R1(n+1) = (\Delta R'(n+1), \Delta R'(n))^T$$

$$G' = (0, Dx \cdot dtc, 0)^T$$

$$Gd' = (0, 0, Ax \cdot dtc)^T$$

$$\Phi' = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 - Cx \cdot dtc & Cx \cdot dtc \\ 0 & Bx \cdot dtc & 1 - Ax \cdot dtc - Bx \cdot dtc \end{bmatrix}$$

$$Gr' = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 1 - Cx \cdot dtc \\ 0 & Bx \cdot dtc \end{bmatrix}$$

【0 2 1 2】

そして、本実施形態でヒータコントローラ 3 2 が求める制御入力 DUT は、次式 (2 6) の評価関数 J 1 を最小化するような  $\Delta DUT$  を積分したものとして、式 (2 7) により与えられる。

【0 2 1 3】

【数 2 6】

$$J1 = \sum_{n=M+1}^{\infty} [X1^T(n) \cdot Q0 \cdot X1(n) + \Delta DUT^T(n) \cdot H0 \cdot \Delta DUT(n)] \quad \dots\dots(26)$$

$$\text{但し、} M = \max(Mr, Md)$$

【0 2 1 4】

【数 2 7】

$$\begin{aligned} DUT(n) = & Fs1 \cdot \sum_{j=1}^n e'(j) + Fe1 \cdot e'(n) + Fx1 \cdot To2(n) \\ & + \sum_{i=0}^{Mr} [Fr'(i) \cdot R'(n+i)] + Fdt' \cdot Tgd(n) \quad \dots\dots(27) \end{aligned}$$

【0 2 1 5】

ここで、式(27)の右辺の第1項～第3項までの係数 $Fs1$ ,  $Fe1$ ,  $Fx1$ と、第4項に係わる係数 $Fr'(i)$  ( $i=0, 1, \dots, Mr$ )と、第5項に係わる係数 $Fdt'$ は、それぞれ、次式(28-1)～(28-3)により与えられる係数である。

【0216】

【数28】

$$F1 \equiv (Fs1, Fe1, Fx1) \\ = -[H0 + G'^T \cdot P' \cdot G']^{-1} \cdot G'^T \cdot P' \cdot \Phi' \quad \dots\dots(28-1)$$

$$Fr'(i) = \begin{cases} Fr12(1) & : i=0 \\ Fr11(i) + Fr12(i+1) & : i=1, 2, \dots, Mr-1 \\ Fr11(Mr) & : i=Mr \end{cases} \quad \dots\dots(28-2)$$

$$Fdt' = \sum_{i=0}^{Md} \{ -[H0 + G'^T \cdot P' \cdot G']^{-1} \cdot G'^T \cdot (\xi'^T)^i \cdot P' \cdot Gd' \} \\ \dots\dots(28-3)$$

但し、

$$P' = Q0 + \Phi'^T \cdot P' \cdot \Phi' \\ - \Phi' \cdot P' \cdot G' \cdot [H0 + G'^T \cdot P' \cdot G']^{-1} \cdot G'^T \cdot P' \cdot \Phi'$$

$$\xi' = \Phi' + G' \cdot F1$$

$$(Fr11(i), Fr12(i)) \\ = -[H0 + G'^T \cdot P' \cdot G']^{-1} \cdot G'^T \cdot (\xi'^T)^{i-1} \cdot P' \cdot G' \\ (i=1, 2, \dots, Mr)$$

【0217】

尚、評価関数 $J1$ に係わる重み行列 $Q0$ ,  $H0$ 、並びに、目標値予見時間 $Mr$ 及び排ガス温度予見時間 $Md$ は、本実施形態では前記第1実施形態と同一としているが、第1実施形態とは異なる値を設定するようにしてもよい。また、式(27)の係数 $Fs1$ ,  $Fe1$ ,  $Fx1$ ,  $Fr'(i)$ ,  $Fdt'$ は、必ずしも式(28-1)～(28-3)の定義式通りの値を用いる必用はなく、実験やシミュレーションを通じて適宜調整した値を用いるようにしてもよい。さらには、ヒータ温度、素子温等に応じて変更してもよい。また、本実施形態では、前記第1実施形態と同様、排

ガス温度  $T_{gd}$  は  $Md$  ステップ後の未来まで現在値に維持されるとしているが、未来の各時刻の  $T_{gd}$  が検出もしくは推定可能な場合には、それらの値を用いて制御入力  $DUT$  を求めるようにしてもよい（この場合には、 $Fdt'$  はベクトルとなる）。

#### 【0218】

前記式（27）が、本実施形態でヒータコントローラ32によりヒータ13を制御するための制御入力  $DUT(n)$ （デューティ）を逐次算出するための演算式である。すなわち、ヒータコントローラ32は、この制御入力  $DUT(n)$  を該ヒータコントローラ32の制御処理のサイクルタイム（周期）毎に式（27）により逐次算出し、そのデューティ  $DUT(n)$  のパルス電圧を図示しないヒータ通電回路に付与することにより、ヒータ13への供給電力を調整する。尚、この式（27）の右辺各項は、前記第1実施形態のものと同様の意味を持つ。すなわち、右辺の第1から第3項まで（ $\sum e'(j)$  を含む項～ $T_{02}(n)$  を含む項まで）は、ヒータ温偏差  $e'$  や素子温度  $T_{02}$  に応じた制御入力成分（最適制御アルゴリズムに基づくフィードバック成分）である。また、式（24）の右辺第4項（ $\sum Fr'(i) \cdot R'(n+i)$  の項）と、右辺第5項（ $T_{gd}(n)$  を含む項）とは、それぞれ目標値  $R$ 、排ガス温度  $T_{gd}$  に応じた制御入力成分（予見制御アルゴリズムに基づくフィードフォワード成分）である。

#### 【0219】

ここで、式（27）により制御入力  $DUT(n)$  を求めるために必要な素子温度  $T_{02}$  及び排ガス温度  $T_{gd}$  は、それぞれ、前記素子温オブザーバ20により求められた素子温度  $T_{02}$  の推定値の最新値、前記排気温オブザーバ19により求められた排ガス温度  $T_{gd}$  の推定値の最新値が用いられる。

#### 【0220】

さらに、式（27）の演算に必要なヒータ温偏差  $e'$  は、前記素子温オブザーバ20により求められたヒータ温度  $T_{ht}$  の推定値の最新値と、前記目標値設定手段31により前記目標値予見時間  $Mr$  前のサイクルタイムで設定された目標値  $R'$  とから算出される。

#### 【0221】

以上説明した以外の処理は、前記第1実施形態と同一である。かかる本実施形態では、 $O_2$ センサ8のヒータ温度 $T_{ht}$ が目標値 $R'$ に維持されるように $O_2$ センサ8のヒータ13への供給電力が制御される。この場合、エンジン1の運転開始直後や、大気温度 $T_A$ がかなり低い場合を除いて、通常的には目標値 $R'$ は、素子部10の好適な目標温度である $800^{\circ}C$ よりも所定値 $DR$ （本実施形態では $100^{\circ}C$ ）だけ高い温度（ $900^{\circ}C$ ）に設定される。この結果、 $O_2$ センサ8の素子部10の温度 $T_{O_2}$ は、間接的に、ほぼ $800^{\circ}C$ の温度に制御されることとなる。このため、前記第1実施形態と同様に、 $O_2$ センサ8の出力特性をエンジン1の空燃比制御（触媒装置4による良好な浄化性能を確保するための空燃比制御）に適した特性に安定に維持することができ、ひいては、その空燃比制御を良好に行って、触媒装置4の良好な浄化性能を確実に維持することができる。尚、エンジン1の運転開始直後の所定時間は、素子部10の目標温度 $R$ としての低温側の温度（ $600^{\circ}C$ ）よりも上記所定値 $DR$ だけ高い温度（ $700^{\circ}C$ ）がヒータ13の目標温度 $R'$ として設定され、これにより、素子部10が急激な加熱に伴う応力により損傷するのが防止される。さらに、大気温度 $T_A$ が低い場合（ $T_A < 0^{\circ}C$ ）には、素子部10の目標温度 $R$ を $750^{\circ}C \leq R < 800^{\circ}C$ にすることに対応して、ヒータ13の目標温度 $R'$ は、 $850^{\circ}C \leq R' < 900^{\circ}C$ に設定され、これにより、ヒータ13が過熱状態となるのが回避される。

#### 【0222】

また、本実施形態においては、素子温オブザーバ20のアルゴリズムは、前記第1実施形態と同一であるので、素子温度 $T_{O_2}$ 及びヒータ温度 $T_{ht}$ の推定値の精度を十分に確保できる。そして、ヒータ13に対する制御入力であるデューティ $DUT$ は、ヒータ温度 $T_{ht}$ の推定値に応じた制御入力成分（前記式（27）の第1項（ $\sum e'(j)$ を含む項）及び第2項（ $e'(n)$ を含む項））と、素子温度 $T_{O_2}$ の推定値に応じた制御入力成分（前記式（27）の第3項）とを含む。加えて、本実施形態においても、予見制御のアルゴリズムを適用し、デューティ $DUT$ には、排ガス温度 $T_{gd}$ に応じた制御入力成分（式（27）の右辺第5項のフィードフォワード成分）と、目標値 $R'$ に応じた制御入力成分（式（27）の右辺第4項のフィードフォワード成分）とが含まれる。この結果、ヒータ温度 $T_{ht}$ を確実に所望

の目標値 $R'$ に安定して制御することができ、ひいては、素子温度 $T_{O_2}$ を所望の温度に安定して制御することができる。

#### 【0223】

尚、以上説明した第1及び第2実施形態では、排ガス温度 $T_{gd}$ を推定するようにしたが、例えば $O_2$ センサ8の近傍に、排ガス温度センサを設け、この排ガス温度センサにより排ガス温度 $T_{gd}$ を検出するようにしてもよい。この場合には、前記式(10-1)の排ガス温度 $T_{gd}$ の値として、排ガス温度センサの検出値(最新値)を用いて、素子温度 $T_{ht}$ を推定する。さらに、式(24)あるいは式(27)の排ガス温度 $T_{gd}$ の値として、排ガス温度センサの検出値(最新値)を用いて、デューティDUTを算出するようにすればよい。

#### 【0224】

また、前記第1及び第2実施形態では、素子温度 $T_{O_2}$ 及びヒータ温度 $T_{ht}$ の両者を推定するようにしたが、いずれか一方を温度センサにより直接的に検出するようにしてもよい。素子温度 $T_{O_2}$ を検出するようにした場合には、式(10-2)の素子温度 $T_{O_2}$ の値として、該素子温度 $T_{O_2}$ の検出値(最新値)を用いて、ヒータ温度 $T_{ht}$ を推定する。さらに、式(27)の素子温度 $T_{O_2}$ の値として、該素子温度 $T_{O_2}$ の検出値(最新値)を用いて、デューティDUTを算出するようにすればよい。また、ヒータ温度 $T_{ht}$ を検出するようにした場合には、式(10-1)のヒータ温度 $T_{ht}$ の値として、該ヒータ温度 $T_{ht}$ の検出値(最新値)を用いて、素子温度 $T_{O_2}$ を推定する。さらに、式(24)のヒータ温度 $T_{ht}$ の値として、該ヒータ温度 $T_{ht}$ の検出値(最新値)を用いて、デューティDUTを算出するようにすればよい。

#### 【0225】

また、前記第1及び第2実施形態では、最適予見制御のアルゴリズムにより $O_2$ センサ8の素子温度 $T_{O_2}$ 又はヒータ温度 $T_{ht}$ を目標値 $R$ 又は $R'$ に制御するようにしたが、その他の制御アルゴリズム(例えば通常的なPI制御もしくはPID制御のアルゴリズム)により制御入力DUTを生成するようにしてもよい。

#### 【0226】

あるいは、例えば予見制御のアルゴリズムを含まない通常的な最適制御のアル

ゴリズムにより制御入力DUTを求めるようにしてもよい。この場合には、式(24)の右辺から、第4項( $R(n+i)$ を含む項)と第5項( $T_{gd}(n)$ を含む項)とを除去した式、あるいは、式(27)の右辺から、第4項( $R'(n+i)$ を含む項)と第5項( $T_{gd}(n)$ を含む項)とを除去した式によって、制御入力DUTを逐次算出するようにすればよい。このようにした場合には、制御入力DUTを求めるヒータコントローラは、式(17)あるいは式(26)で $M=0$ としてなる評価関数 $J_0$ 又は $J_1$ の値を最小化するように制御入力DUTを求める最適サーボコントローラとなる。

#### 【0227】

また、前記各実施形態では、 $O_2$ センサ8の素子温度 $T_{O2}$ を制御する場合を例にとって説明したが、 $O_2$ センサ8以外の排ガスセンサ(例えば、前記広域空燃比センサ9や、排ガスの水分含有量に応じた出力を発生する湿度センサ等)についても本発明を適用することができることはもちろんである。この場合、素子温度やヒータ温度を推定するアルゴリズムは、前記第1実施形態及び第2実施形態のものと同様でよい。

#### 【0228】

また、内燃機関としては、通常のポート噴射式内燃機関、筒内直接噴射型火花点火式内燃機関、ディーゼル機関等、さらには船外機用の内燃機関等についても本発明を適用可能であることは言うまでも無い。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の第1実施形態の装置の全体構成を示すブロック図。

##### 【図2】

図1の装置に備えた $O_2$ センサ(排ガスセンサ)の構造を示す断面図。

##### 【図3】

図2の $O_2$ センサの出力特性を示すグラフ。

##### 【図4】

図1の装置に備えたセンサ温度制御手段の機能的構成を示すブロック図。

##### 【図5】



図5のセンサ温度制御手段に備えた排気温オブザーバの処理を説明するための断面図。

【図6】

図5のセンサ温度制御手段に備えた排気温オブザーバの機能的構成を示すブロック図。

【図7】

図5のセンサ温度制御手段に備えたヒータコントローラの機能的構成を示すブロック図。

【図8】

図1の装置に備えたセンサ温度制御手段の全体的処理を示すフローチャート。

【図9】

図8のフローチャートのサブルーチン処理を示すフローチャート。

【図10】

図8のフローチャートのサブルーチン処理を示すフローチャート。

【図11】

図8のフローチャートのサブルーチン処理を示すフローチャート。

【図12】

本発明の第2実施形態におけるセンサ温度制御手段の機能的構成を示すブロック図。

【符号の説明】

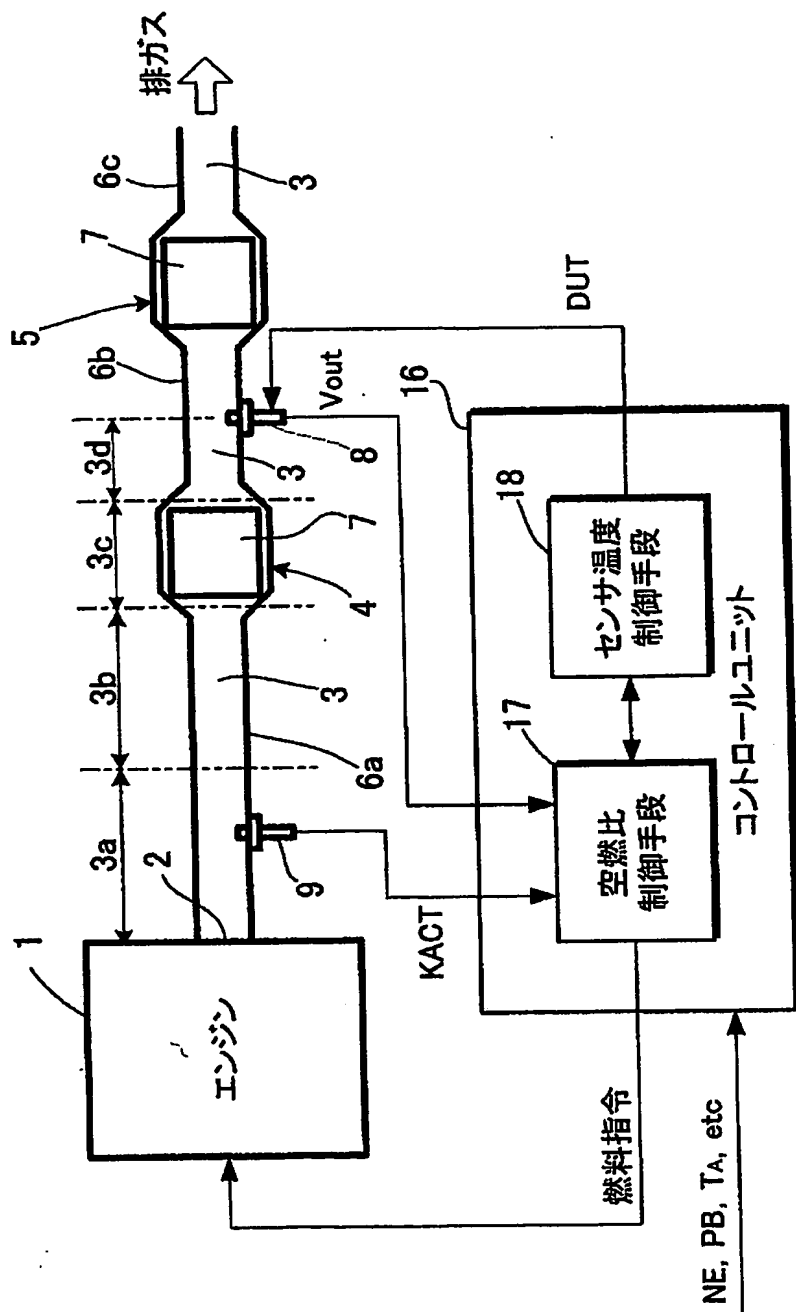
1…エンジン（内燃機関）、3…排気通路、8… $O_2$ センサ（排ガスセンサ）、10…素子部、13…ヒータ、20…素子温オブザーバ（温度推定手段）、22…ヒータコントローラ（ヒータ制御手段）。

【書類名】

図面

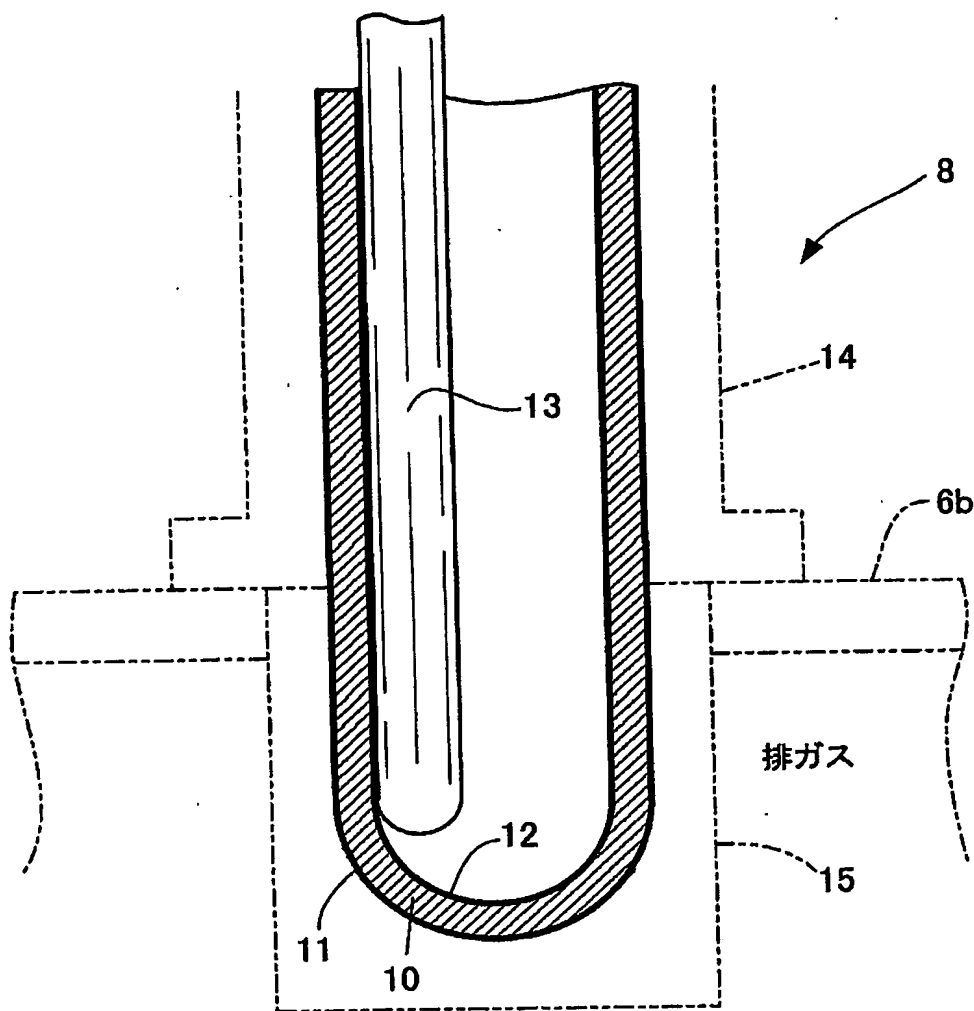
【図 1】

FIG.1



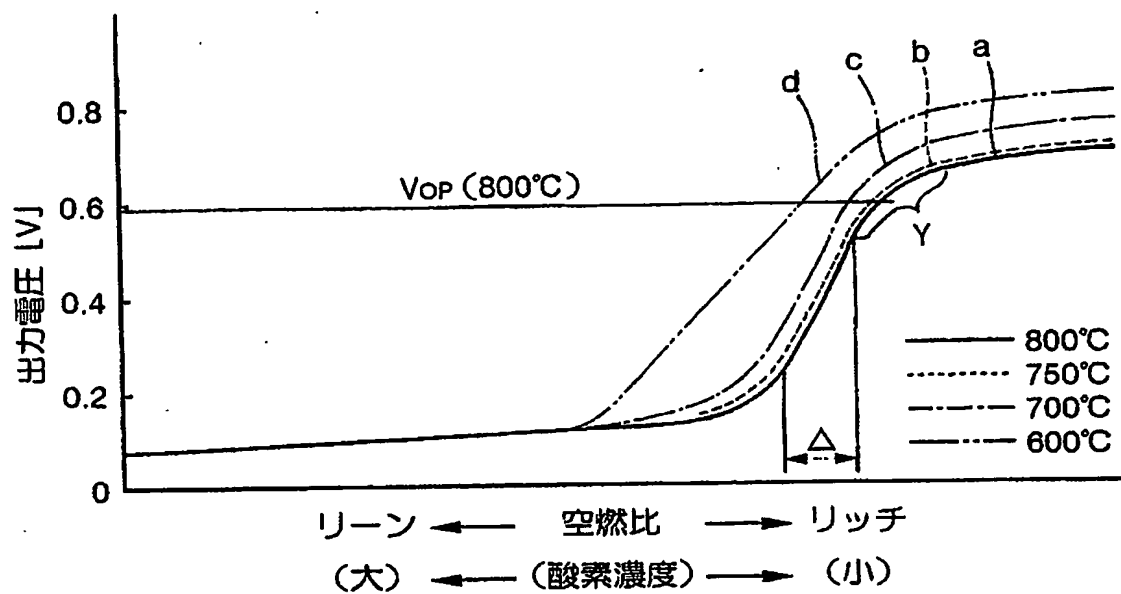
【図2】

FIG.2

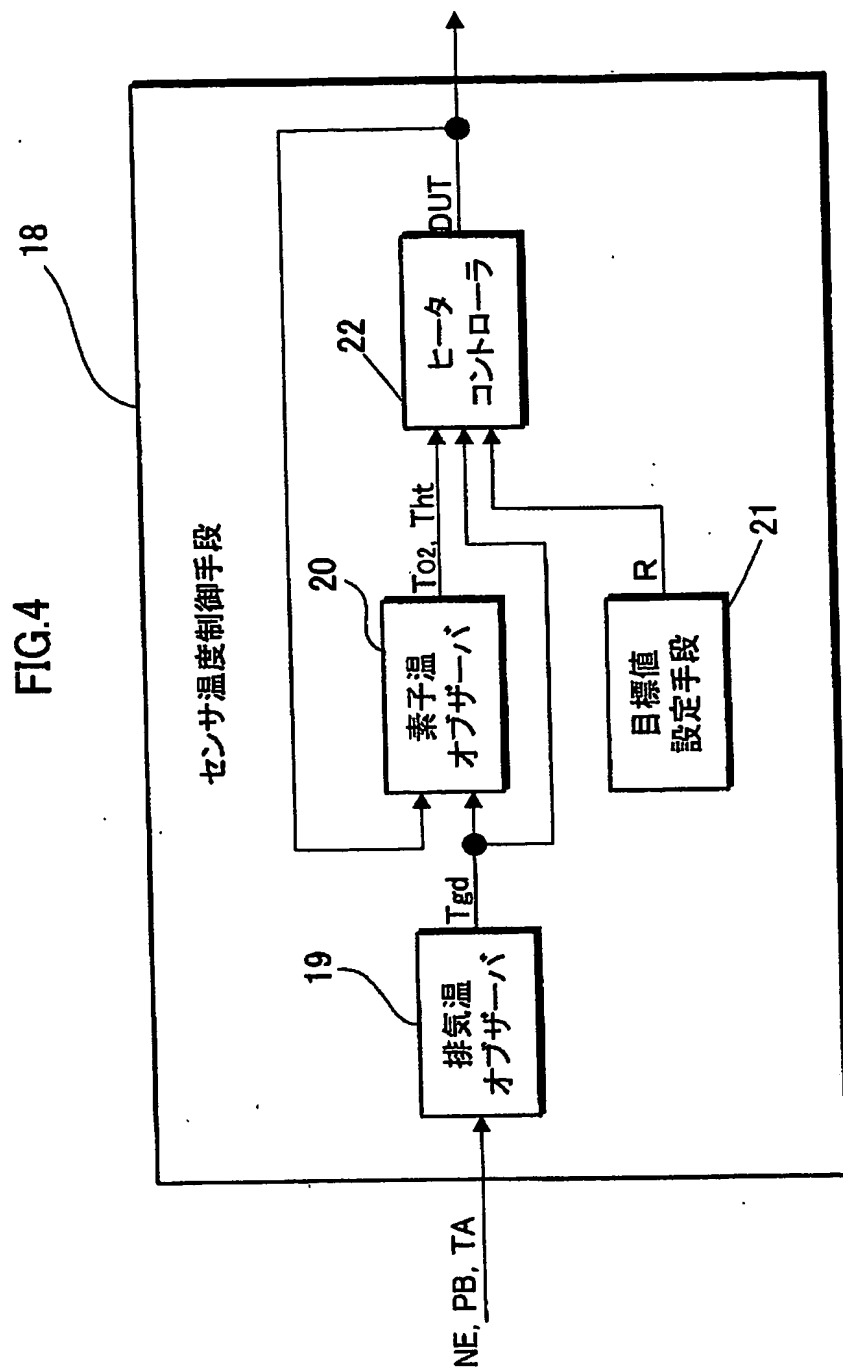


【図 3】

FIG.3

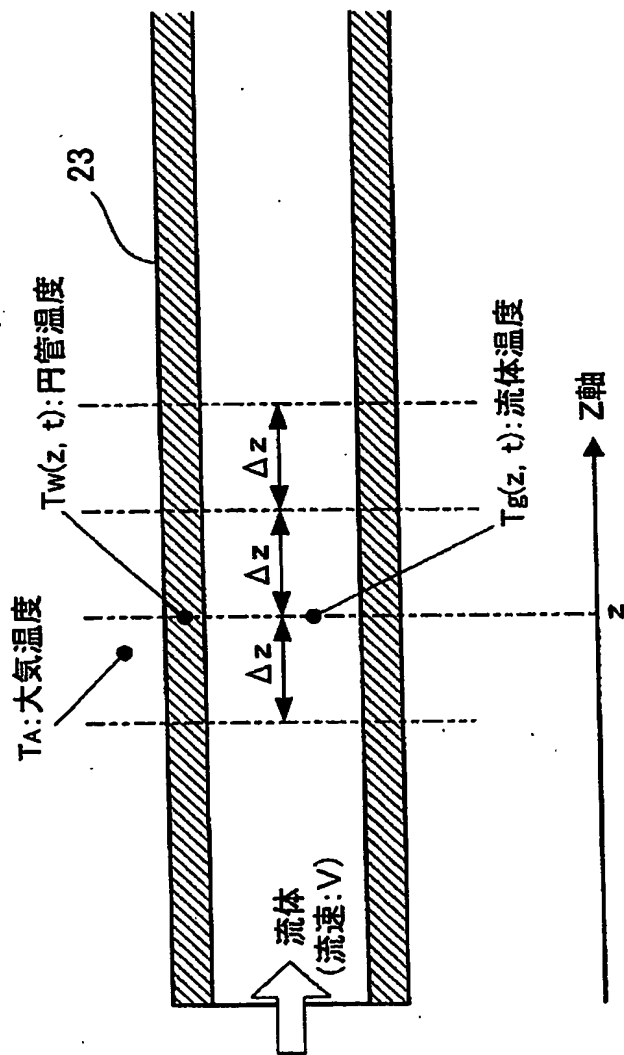


【図4】



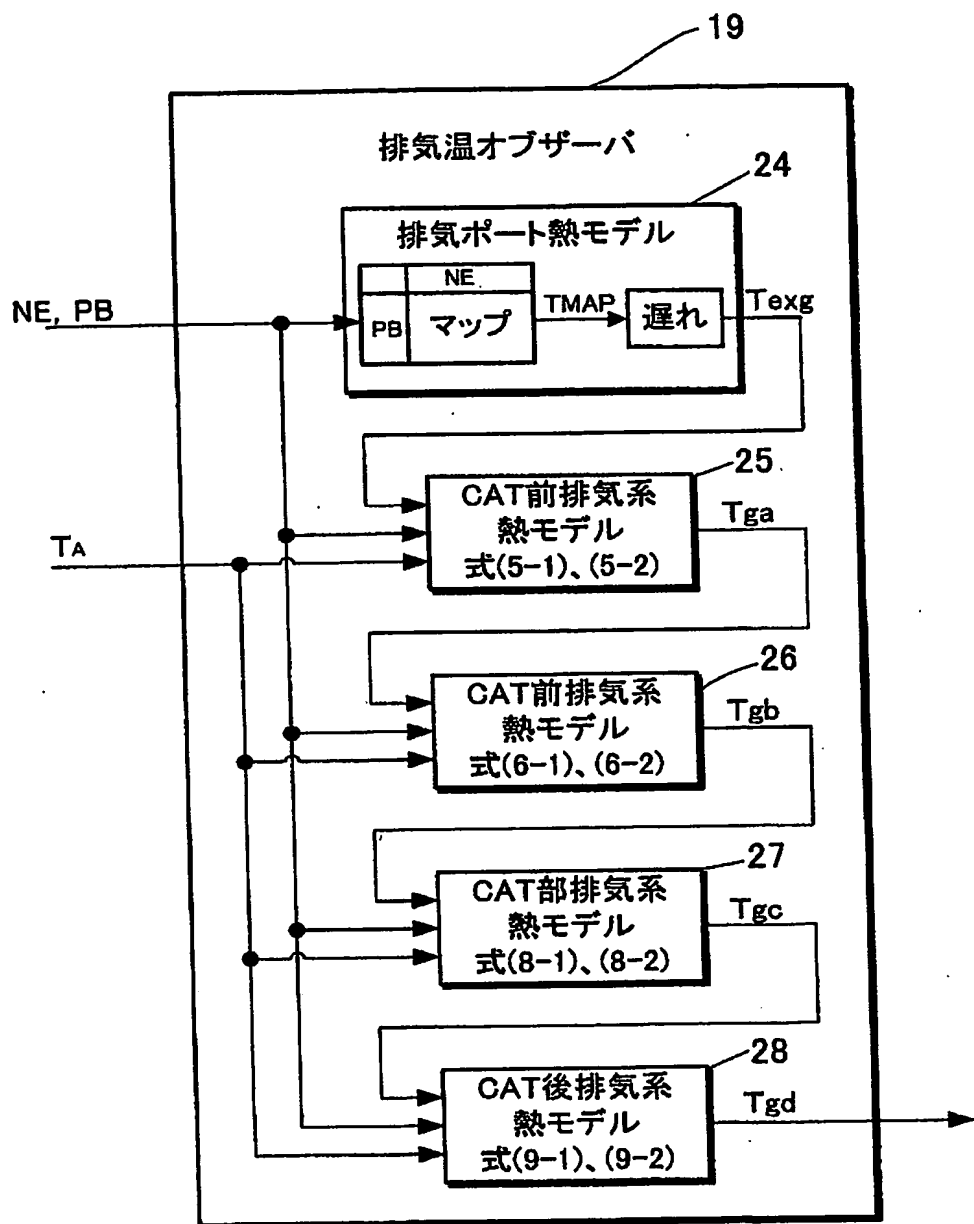
【図 5】

FIG.5



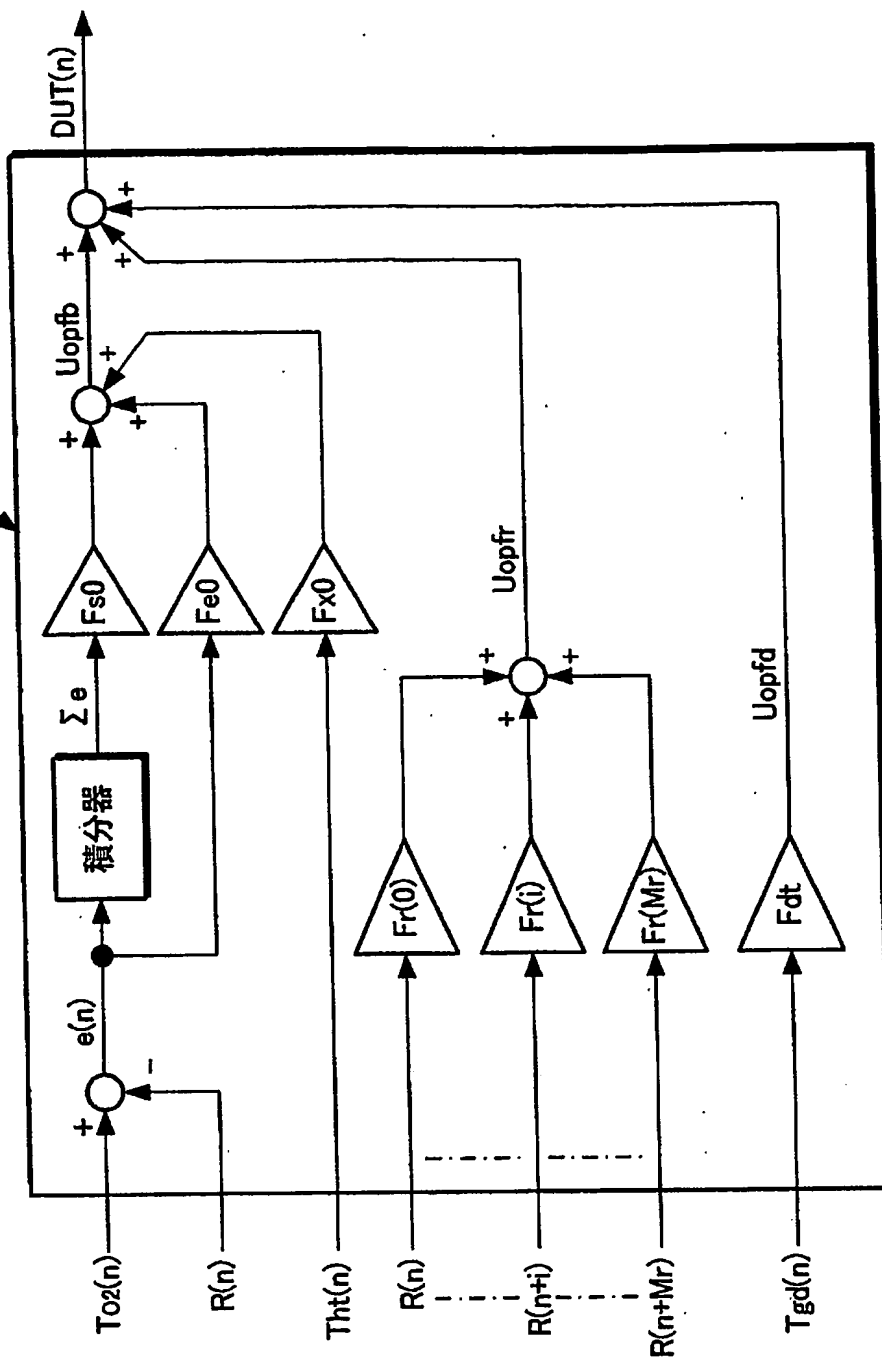
【図 6】

FIG.6



【図 7】

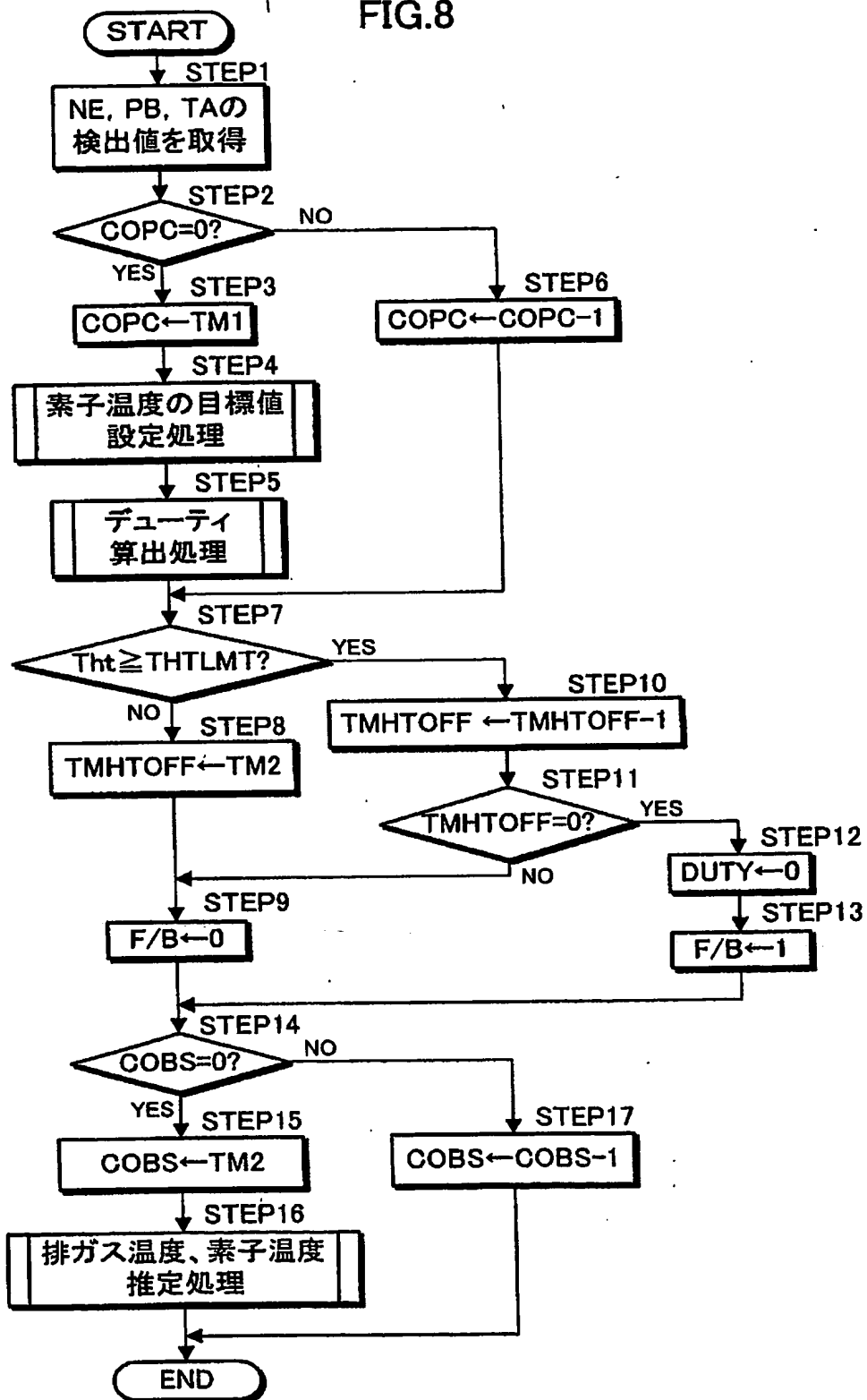
FIG.7  
22(ヒータコントローラ)





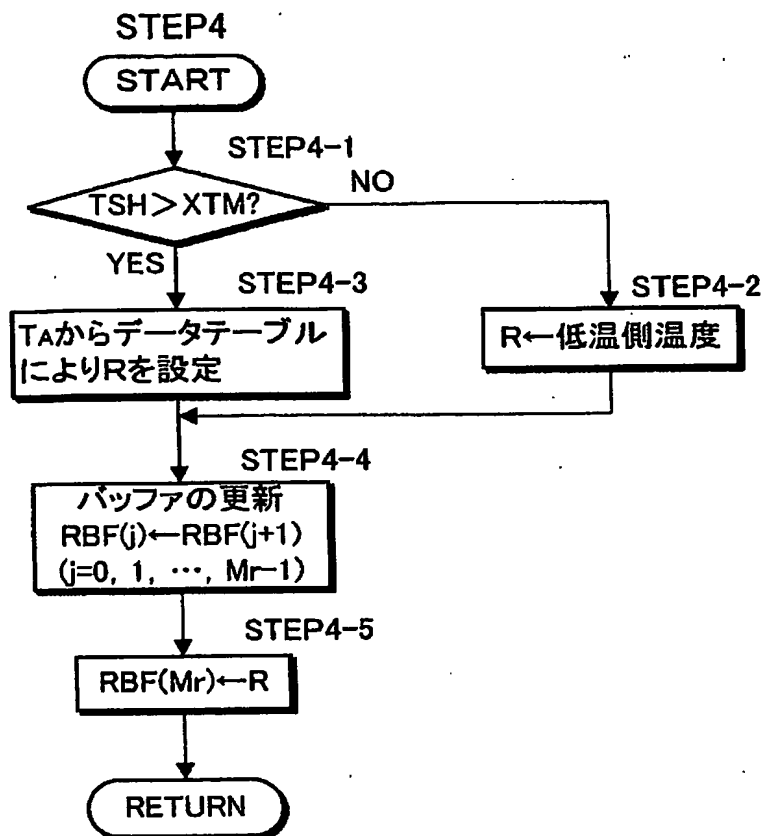
【図 8】

FIG.8



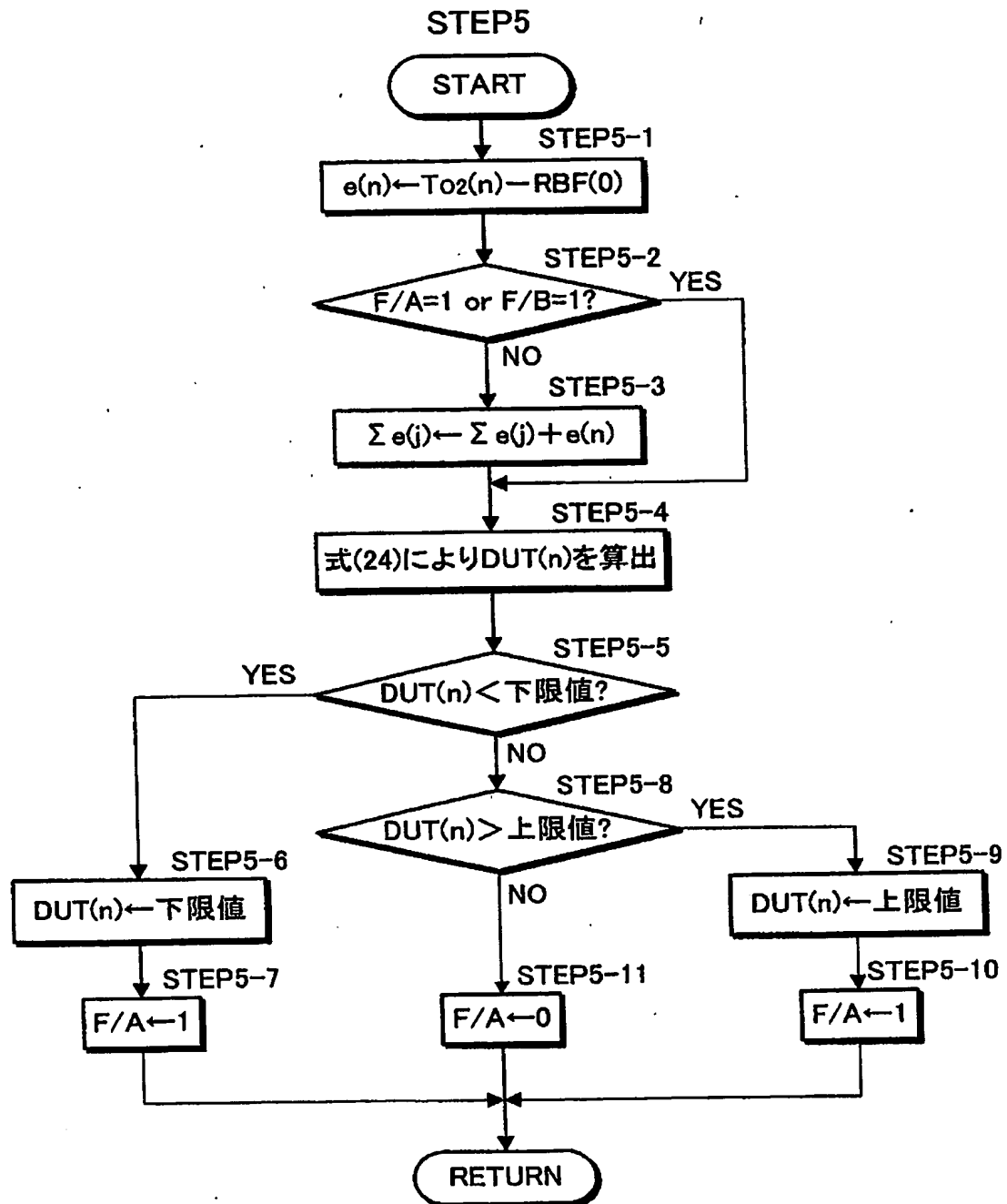
【図 9】

FIG.9



【図10】

FIG.10



【図 11】

FIG.11

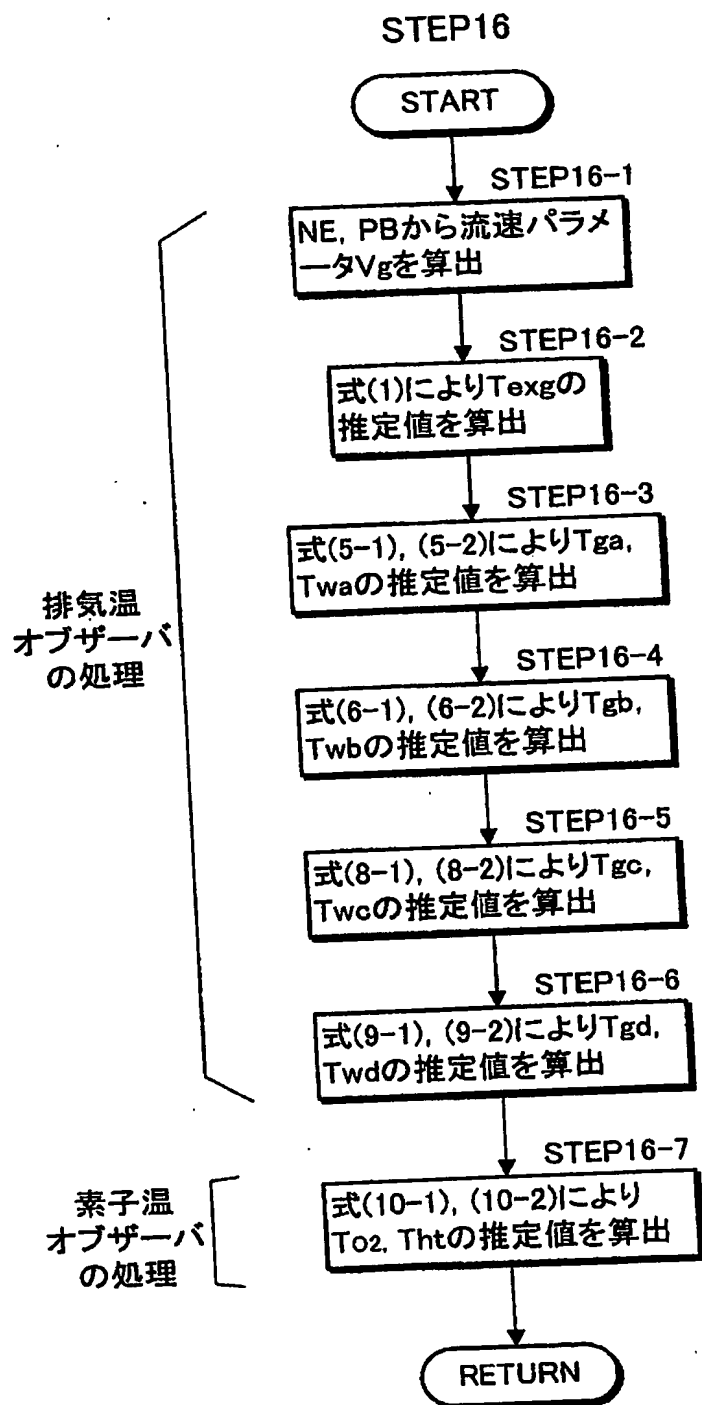
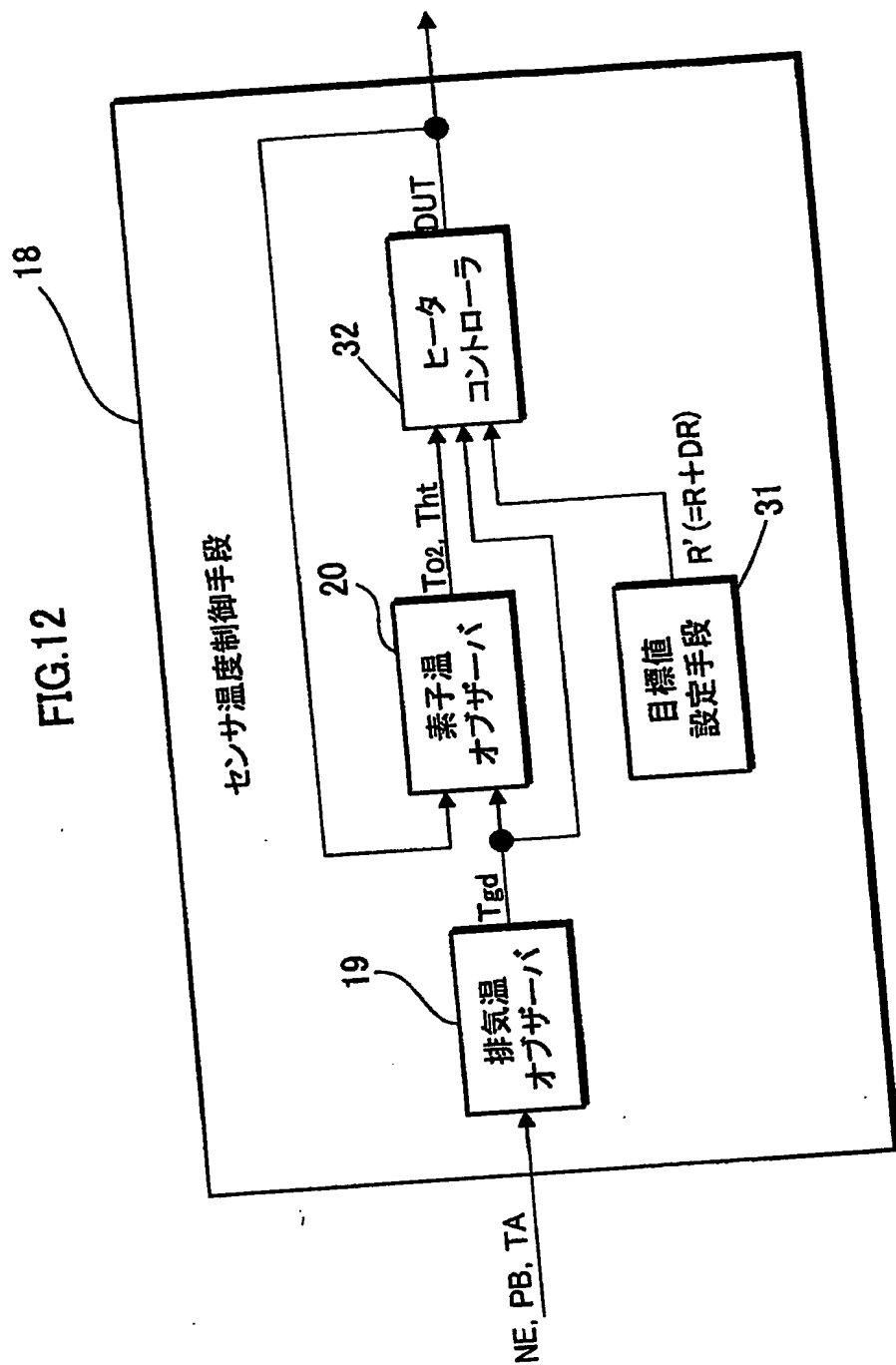


図 12]



## 【書類名】 要約書

## 【要約】

【課題】 排ガスセンサの素子部あるいはヒータの温度を精度良く推定し、その推定値を用いて排ガスセンサの素子部の温度を安定して所望の温度に制御することができる排ガスセンサの温度制御装置を提供する。

【解決手段】 排気通路3に備えた排ガスセンサ（ $O_2$ センサ）8の素子部10の温度を制御するセンサ温度制御手段18は、素子部10とこれを加熱するヒータ13との間の熱伝達、並びに素子部10と排ガスとの間の熱伝達に応じた素子部の温度変化を表現する素子温モデルと、素子部10とヒータ13との間の熱伝達、並びにヒータ13への電力供給に応じたヒータの温度変化を表現するヒータ温モデルとに基づいて素子部10及びヒータ13の温度をそれぞれ推定し、それらの推定値を用いて素子部10あるいはヒータ13の温度が所定の目標温度になるようにヒータ13を制御する。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号

[000005326]

1. 変更年月日	1990年 9月 6日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区南青山二丁目1番1号
氏 名	本田技研工業株式会社